المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص

قوى كهربائية

آلات ومعدات كهربائية

دوائر كهربائية – ١

١٠٦ كهر

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **دوائر كهربائية ١** " لمتدربي تخصص " **قوى كهربائية – آلات ومعدات كهربائية** " في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

يمكن تعريف الكهروستاتيكية كدراسة للظواهر(أى القوى والمجالات) الناتجة عن وجود نقط مشحونة ساكنة أو وجود شحنات ساكنة موزعة على مساحة سطحية أو شحنات ساكنة موزعة في حجم معين . وهناك دلائل على أن الظواهر الأولية للكهرباء الساكنة كانت معروفة منذ حوالى ٦٠٠ سنة قبل الميلاد . فمن هذه الظواهر إمكان التقاط بعض الأشياء الخفيفة (مثل الفتل أو الشعر أو الورق) بواسطة قضيب من الكهرمان أو الزجاج بعد حكه بقطعة من القماش أو الجلد. وبما أن هذه الظاهرة قد عرفت في بادئ الأمر في مادة الكهرمان لذلك فقد سميت بالكهرباء (في اللغة اليونانية كهرمان =Electron ومن ثم جاءت كلمة Electricity) .

تتناول هذه الحقيبة أهم الموضوعات المتعلقة بأساسيات الهندسة الكهربائية . وتحتوى الحقيبة على ست وحدات أساسية ، فالوحدة الأولى التي تحتوي على فصلين تختص بدراسة الكهروستاتيكية ، والوحدة الثانية التي تحتوي على فصل واحد يختص بدراسة البطاريات ، الوحدة الثالثة التي تحتوي على أربعة فصول تختص بدراسة دوائر التيار المستمر، والوحدة الرابعة نستعرض فيها شرحاً عن وسائل تحليل الدوائر الكهربائية البسيطة، والوحدة الخامسة تتطرق الى الإلمام بأساسيات المغناطيسية الطبيعية وأساسيات الكهرومغناطيسية مثل الآثار المغناطيسية للتيار والحثية ، أما الوحدة السادسة فتختص بدراسة بدراسة الدوائر المغناطيسية.

يتناول الفصل الأول دراسة المجال الكهربائي فتم تقديم التعريفات والفروض الأساسية ودراسة العلاقات والقوانين المهمة مثل قانون كولوم وطرق حساب شدة المجال الكهربائي مع التوضيح بأمثلة متنوعة. كما يتناول دراسة الجهد الكهربائي ويحتوي على دراسة فرق الجهد بين نقطتين وفرق الجهد داخل وخارج كرة مشحونة وكذلك السطوح متساوية الجهد . أما الفصل الثاني فيختص بدراسة المكثفات وطرق حساب السعة للمكثفات ذات الألواح المتوازية ، بالإضافة إلى طرق توصيل المكثفات على التوالي والتوازي وكذلك طرق حساب الطاقة المختزنة في المكثفات مع إيضاح ذلك بأمثلة متنوعة. وفي الفصل الثالث الذي يشمل البطاريات والتى هي عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية ، فقد تم شرح النوعين الأساسيين لهذه الخلايا وهما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية ، كما تم شرح الطرق المختلفة لتجميع البطاريات مع توضيح ذلك بأمثلة محلولة.

ويهتم الفصل الرابع بالتعريفات الأساسية للكميات الكهربائية مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة وكذلك يتناول دراسة العلاقات الهامة المستخدمة في دوائر التيار المستمر مثل قانون أوم وطرق

حساب القدرة والطاقة الكهربائية. والفصل الخامس يختص بدراسة العلاقات والقوانين المهمة المستخدمة في توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي للتيار المستمر مثل قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة. أما الفصل السادس فيهتم بدراسة توصيل وحل الدوائر على التوازي بما فيها الدوائر المفتوحة ودوائر القصر وكذلك شرح العلاقات والقوانين الخاصة بها مثل قانون كيرشوف للتيار وقاعدة توزيع التيار ، وقد تم شرح ذلك بأمثلة عديدة توضيحية. ويشمل الفصل السابع أمثلة متنوعة لطرق حساب الكميات الكهربائية المختلفة في حالة توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي والتوازي معا. والفصل الثامن يناقش مجموعة من القوانين و النظريات و الطرق لتحليل الدوائر الكهربائية البسيطة، والفصل التاسع يتطرق في البداية إلى جزء المغناطيسية أي المغناطيسية الطبيعية وظواهرها، إلى القوة المشاهدة بين الأقطاب المغناطيسية، وإلى مفهوم خطوط القوى التي تساعد في فهم الفيض المغناطيسي وكثافته، كما يعرف المتدرب بكيفية تصنف المواد إلى مغناطيسية وغير مغناطيسية حسب قابليتها لتمرير خطوط القوى وذلك باستعمال مفهوم النفاذية، وأخيرا سنعرف شدة المجال المغناطيسي المربوط بكثافة الفيض والذي لا يعتمد على نوع المادة المتواجدة في المجال.وفي الجزء الأخير من هذا الفصل فإننا سنتطرق إلى دراسة أساسيات الكهرومغناطيسية من أهمها الظواهر المغناطيسية للتيار الكهربائي ، والقوى الناتجة عن تواجد أسلاك حاملة للتيار داخل مجالات مغناطيسية، مفهوم الحثية (الذاتية و المتبادلة) المستعملة كثيرا في الدوائر الكهربائية. وأخيرا سندرس بإيجاز الحث الكهرومغناطيسي وبخاصة العلاقة بين التيار المار في ملف والجهد المستحث فيه.

أما الفصل العاشر فيتطرق الى القواعد الأساس للدوائر المغناطيسية كما يعرف المتدرب بكيفية التعامل مع العناصر المغناطيسية و الكميات المغناطيسية و القوانين التي تحكم الدائرة المغناطيسية و أساليب تحليل هذه الدائرة ، كما يشتمل على أمثلة توضيحية مختلفة.

دوائر كهربائية – ١

الكهرباء الساكنة

الجدارة: معرفة وفهم أساسيات وطرق حساب المجالات الكهروستاتيكية ، بالإضافة إلى فهم المكثفات وطرق حساب السعة للمكثفات المختلفة.

الأهداف: عند اتمام دراسة هذه الوحدة يكون لدى المتدرب القدرة على معرفة وفهم :

١- أساسيات الكهرباء الساكنة.

٢- كيفية توليد الكهرباء الساكنة.

٣- التعريفات والفروض الأساسية مثل خطوط القوى والفيض الكهربائي وطرق حساب كل من القوة بين شحنتين (قانون كولوم) وشدة المجال الكهربى.

٤- التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية.

٥- تركيب المكثفات وحساب سعتها والطرق المختلفة لتوصيلها وكذلك حساب الطاقة المختزنة فيها.

٦- طرق حساب فرق الجهد بين نقطتين وكذلك فرق الجهد داخل وخارج كرة مشحونة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٨ ساعات.

الفصل الأول

مبادىء الكهرباء الساكنة

تعريف الكهرباء الساكنة :

الكهرباء الساكنة من علوم الفيزياء الأساسية ولها العديد من التطبيقات في حياتنا العملية مثل مكائن التصوير وطابعات الليزر والمعجلات النووية، ولدراسة هذا العلم سوف نقوم بشرح مفاهيمه الاساسية التي يعتمد عليها هذا العلم، وتتلخص تلك المفاهيم في مفهوم الشحنة الكهربائية والمجال الكهربائي والفيض الكهربائي والجهد الكهربائي، وسنقوم أيضا بدراسة بعض التطبيقات الأساسية مثل المكثف الكهربائي والتيار الكهربائي المستمر وتحليل الدوائر الكهربائية باستخدام قاعدة كيرشوف.

مفاهيم أساسية :

الشحنة الكهربائية:

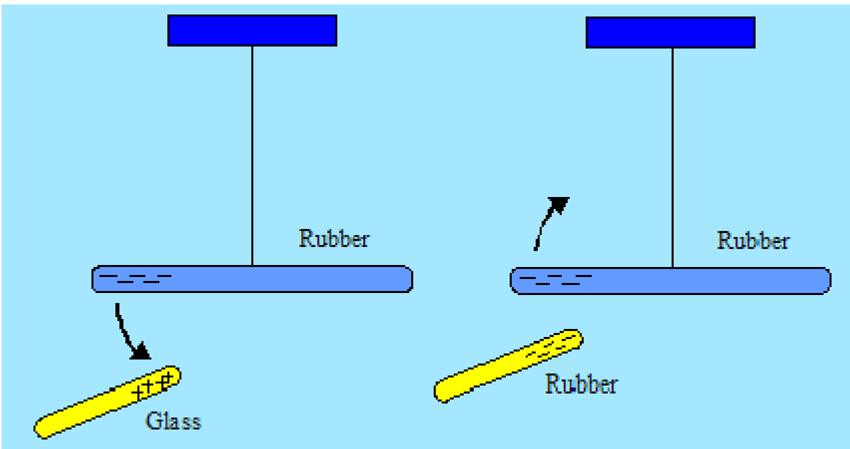
إن الأجسام الطبيعية المحيطة بنا تكون عادة متعادلة رغم أنها تتكون من جسيمات تحتوى على شحنات كهربائية (الكترونات وبروتونات) ، وهذا نتيجة لكون الشحنة الموجبة التى تحملها نواة الذرة تكون مساوية تماما للشحنة السالبة التي تحملها إلكترونات هذه الذرة . ويكتسب الجسم شحنة كهربائية عندما تصبح الشحنتان الموجبة والسالبة في الجسم – أو في جزء منه- غير متساويتين . ويتم ذلك نتيجة لبعض العمليات مثل:

- الاحتكاك .
- الحث الكهربائي .
- الشحن الكهربائي .
- بعض العمليات الكيميائية .

وفى جميع هذه العمليات السابقة يكون الشحن عن طريق انتقال الشحنات السابقة فقط (الإلكترونات) أى إن الجسم يكتسب شحنة سالبة عند إضافة إلكترونات إليه ويكتسب شحنة موجبة عند سحب إلكترونات منه .

أنواع الشحنات:

بواسطة التجارب يمكن إثبات أن هناك نوعين مختلفين من الشحنة. فمثلاً عن طريق دلك ساق من الزجاج بواسطة قطعة من الحرير وتعليقها بخيط عازل. فإذا قربنا ساقاً آخر مشابها تم دلكه بالحرير أيضا من الساق المعلق فإنه سوف يتحرك في اتجاه معاكس، أي إن الساقين يتنافران Repel. وبتقريب ساق من البلاستيك تم دلكه بواسطة الصوف فإن الساق المعلق سوف يتحرك باتجاه الساق البلاستيكية أي أنهما يتجاذبان Attract [شكل (١- ١)].



شكل (١-١)

و قد سمى العالم الأمريكي Franklin الشحنة التي تتكون على البلاستيك بشحنة سالبة (Negative charge) واستنتج أن الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.

الحفاظ على الشحنة:

النظرة الحديثة للمواد هي أنها في الحالة العادية متعادلة Neutral. هذه المواد تحتوي على كميات متساوية من الشحنة تنتقل من واحد إلى الآخر أثناء عملية الدلك (الشحن)، كما هو الحالة في دلك الزجاج بالحرير، فإن الزجاج يكتسب شحنة موجبة من الحرير بينما يصبح الحرير مشحوناً بشحنة

سالبة، ولكن كلاً من الزجاج والحرير معاً متعادل كهربائياً. وهذا ما يعرف بالحفاظ على الشحنة Conservation of electric charge.

والقوى المتبادلة المسؤولة عن التركيب الذرى أو الجزئي أو بصفة عامة للمواد هي مبدئيا قوى كهربائية بين الجسيمات المشحونة كهربائياً، وهذه الجسيمات هي البروتونات والنيوترونات والإلكترونات.

وكما نعلم فإن الإلكترون شحنته سالبة، وبالتالي فإنه يتجاذب مع مكونات النواة الموجبة، وهذه القوى هي المسؤولة عن تكوين الذرة Atom. وكما أن القوى التي تربط الذرات مع بعضها مكونة الجزيئات هي أيضا قوى تجاذب كهربائية بالإضافة إلى القوى التي تربط بين الجزيئات لتكون المواد الصلبة والسائلة.

الجدول (١- ١) يوضح خصائص المكونات الأساسية للذرة من حيث قيمة الشحنة والكتلة:

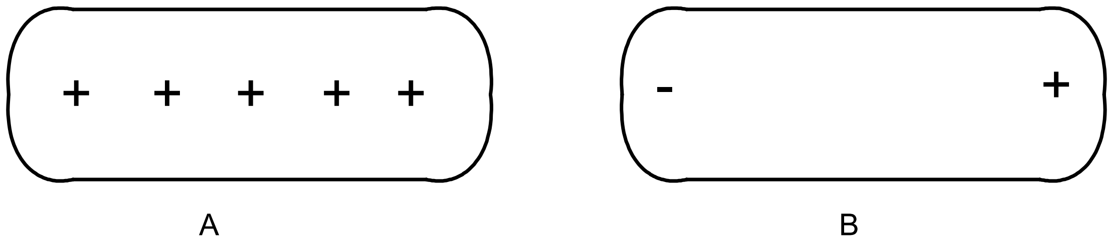
الجسيمات	الرمز	الشحنة	الكتلة
Proton البروتون	p	1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-27}K
Neutron النيوترون	n	0	1.67×10^{-27}K
Electron الإلكترون	e	-1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-31}K

جدول (١- ١)

ويجب أن ننوه هنا أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة مع بعضها وهى القوى النووية، ولولاها لتفتت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون.

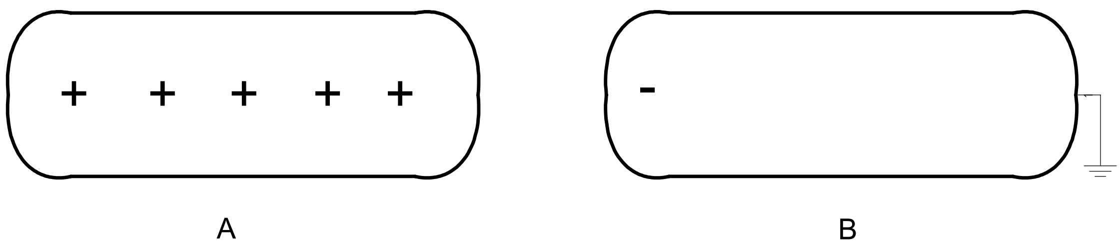
الحث الكهربائي : (Electrostatic Induction)

عند تقريب جسم A مشحون بشحنة موجبة من جسم آخر عازل (شكل ١- ٢) فإننا نجد أن شحنة سالبة تتكون على طرف الجسم B القريب من الجسم A ، بينما تتكون شحنة موجبة مساوية لهاعلى الطرف البعيد من الجسم B.



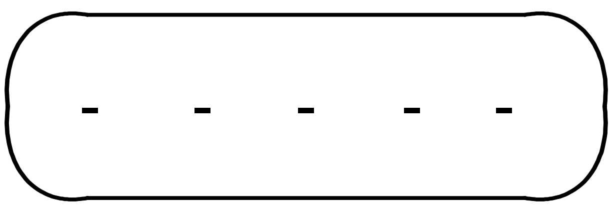
شكل (١- ٢)

تسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحث الكهربى ، وتسمى الشحنة الموجودة على الجسم A بالشحنة الحاثة والشحنة التى نتجت على الجسم B بالشحنة المستحثة . ونلاحظ هنا أن الشحنة المستحثة السالبة الموجودة على الطرف B القريب من A مقيدة بالشحنة الحاثة الموجبة الموجودة على الجسم A . وعلى العكس ، فإن الشحنة المستحثة الموجبة البعيدة عن A هى شحنة حرة . فلو أننا وصلنا طرف B البعيد بالأرض كما فى شكل (١- ٣) فإن الشحنة على هذا الطرف تتسرب إلى الأرض بينما تظل الشحنة السالبة القريبة من الجسم A موجودة على B حيث إنها مقيدة بالشحنة الحاثة على A .



شكل (١- ٣)

نفرض الآن أن الجسم B قد عزل عن الأرض مرة أخرى ثم أبعد عن الجسم A. عندئذ تتحرك الشحنة المستحثة السالبة الموجودة على الجسم B وتنتشر عليه كله ، وبذلك يكون قد تم شحن الجسم B عن طريق الحث (شكل(١- ٤)) .



B

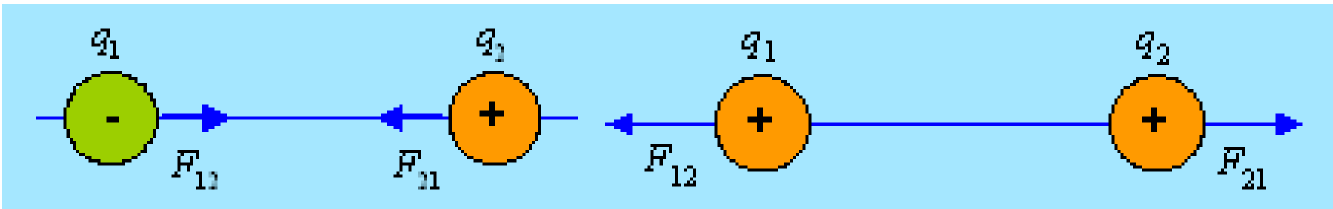
شكل (١-٤)

القوى الكهربائية وقانون كولوم:

القوة بين شحنتين:

فى عام ١٧٨٥ قام العالم الفرنسى شارل أوجستين دى كولوم بسلسلة من التجارب أسفرت عن الحقائق التالية:

١- إذا وضعت شحنتان فى الفراغ (أو الهواء) بينهما مسافة محدودة تتولد بينهما قوة تنافر (شكل ١- ٥أ) إذا كانتا متشابهتين وقوة تجاذب(شكل ١- ٥ب) إذا كانتا مختلفتين .



ب　　　　　　　　أ

شكل (١- ٥)

حيث F مقدار القوة بين الشحنتين q_2 و q_1 و r تمثل المسافة بينهما ، K هو ثابت التناسب وهو يعتمد على نظام الوحدات المستخدمة وعلى الوسط الذى تتواجد فيه الشحنات .

٢- تناسب مقدار هذه القوة تناسبا طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين

$$F \propto q_1 q_2 \qquad (1\text{-}1)$$

٣- يتناسب مقدار هذه القوة تناسبا عكسيا مع مربع المسافة بينهما كما موضح فى شكل (١- ٥).

أي إن

$$F \propto \frac{1}{r^2} \qquad (1\text{-}2)$$

حساب القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة:

القوى الكهربائية:

القوى الكهربائية تكون ناتجة من تأثير شحنة على شحنة أخرى أو من تأثير توزيع معين لعدة شحنات على شحنة معينة q_1 على سبيل المثال، ولحساب القوة الكهربائية المؤثرة على تلك الشحنة نتبع الخطوات التالية:

القوة الكهربائية بين شحنتين:

الشكل (١- ٥أ) يمثل شحنات متشابهة إما موجبة أو سالبة حيث القوة المتبادلة هي قوة تنافر (Repulsive force). و لحساب تأثير القوى الكهربائية لشحنة على الأخرى (في حالة وجود شحنتين فقط) فإننا نقوم بحساب مقدار القوة المتبادلة بينهم كما يلي:

$$F_{12} = K\frac{q_1 q_2}{r^2} = F_{21} \tag{1-3}$$

نسمى الشحنة الأولى q_1 والثانية q_2. فإن القوة المؤثرة على الشحنة q_1 نتيجة الشحنة q_2 تكتب F_{12} وتكون في اتجاه التنافر عن q_2. بينما القوة المؤثرة على الشحنة q_2 نتيجة الشحنة q_1 تكتب F_{21} وتكون في اتجاه التنافر عن q_1 (شكل ١- ٥أ).

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{1-4}$$

أي أن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

كذلك الحال في الشكل (١- ٥ب) والذي يمثل شحنتين مختلفتين، حيث القوة المتبادلة قوة تجاذب Attractive force. وهنا أيضا نتبع نفس الخطوات السابقة وتكون القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضاً.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{1-5}$$

مما سبق نستنتج أن القوة الكهربية التي تعانيها شحنة ما نتيجة لتواجد شحنة ثانية على بعد r منها هى كمية متجهة أى تتحدد بمقدارها واتجاهها ، واتجاه هذه القوة هو اتجاه الخط المستقيم الواصل بين الشحنتين كما موضح فى شكل (١- ٥).

نلاحظ فى العلاقة (3- 1) أن وحدات الطرف الأيسر هى وحدة قوة (نيوتن) بينما وحدات الطرف الأيمن هى مربع وحدة الشحن على مربع وحدة الأطوال . ولكى تكون الأبعاد على جانبي المعادلة متطابقة فإن الشحنة الكهربية يجب أن تكون كمية أساسية مثل الطول والكتلة والزمن ، ووحدتها هى الكولوم .

ويمكن بالتالي تعريف الكولوم (وحدة الشحن) كما يلى :

الكولوم هو مقدار الشحنة التى إذا وضعت فى الفراغ على بعد متر واحد من شحنة مشابهة لها فإنه تتولد بين الشحنتين قوة تنافر مقدارها 9×10^9 نيوتن . وهذا يعني عندما :

$Q_1 = Q_2 = 1$ Coulomb (C), r = 1 meter

لذلك فإن:

$F = 9 \times 10^9$ Newton (N)

وبالتعويض فى المعادلة (3- 1) نحصل على:

$K = 9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$

و يسمى K ثابت كولوم.

وقد لوحظ عند وضع الشحنتين فى أى وسط غير الفراغ أن مقدار القوة بينهما يقل. ولذلك أمكن القول بأن كل وسط له ثابت معين يتناسب عكسيا مع القوة المتولدة ، ويسمى هذا الثابت بسماحية الوسط ويرمز له بالرمز ϵ_0 للفراغ وفى نظام م . ك . ث (متر. كيلوجرام. ثانية) الدولى يرتبط الثابت ϵ_0 بالثابت K بالعلاقة :

$$= \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2/N.m^2 \quad \epsilon_0 = 1/4\pi K \qquad (1\text{-}6)$$

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} = 9 \times 10^9 N m^2/C^2 \qquad (1\text{-}7)$$

وبذلك تصبح المعادلة (1-3) كالآتى :

$$F = \frac{Q_1\ Q_2}{4\ \pi\ \varepsilon_0\, r^2} \qquad (1\text{-}8)$$

حيث

وبالتالي يمكن الحصول على قانون كولوم لأى وسط كالآتي :

$$F = \frac{Q_1\ Q_2}{4\ \pi\ \varepsilon_0\ \varepsilon_r\, r^2}\ \text{N} \qquad (1\text{-}9)$$

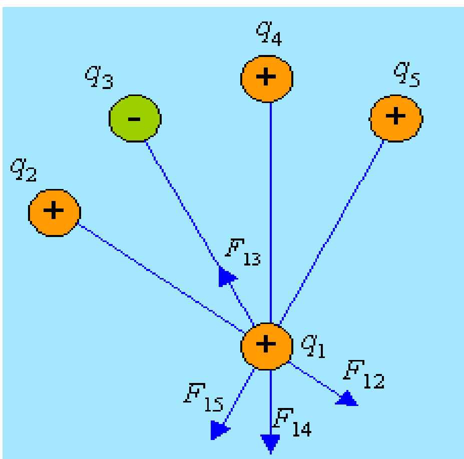
حيث ϵ_r هو ثابت يعتمد على الوسط ويسمى السماحية النسبية ، وللهواء تكون $\epsilon_r = 1$. حيث إن العلاقة بين ϵ_r و ϵ_0 تأخذ الصورة الآتية :

$$\epsilon = \epsilon_0\ \ \epsilon_r \qquad (1\text{-}10)$$

حيث ϵ هو سماحية أي وسط آخر غير الفراغ .

حساب القوى الكهربائية الكلية الناتجة من تأثير عدة شحنات على شحنة معينة :

القوى الكهربائية تكون ناتجة من تأثير شحنة على شحنة أخرى أو من تأثير توزيع معين لعدة شحنات على شحنة معينة، q_1 على سبيل المثال.



شكل (١- ٦)

في حالة التعامل مع أكثر من شحنتين والمراد حساب القوى الكهربائية الكلية المؤثرة على شحنة q_1 كما في الشكل (١- ٦) فإن هذه القوة هي F_1 وهي الجمع الاتجاهي لجميع القوى المتبادلة مع الشحنة q_1 أي إن

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{15} \qquad (1\text{-}11)$$

ولحساب قيمة واتجاه F_1 نتبع الخطوات التالية:

١) حدد متجهات القوة المتبادلة مع الشحنة q_1 على الشكل وذلك حسب إشارة الشحنات وللسهولة نعتبر أن الشحنة q_1 قابلة للحركة وباقي الشحنات ثابتة.

٢) نأخذ الشحنتين q_1 و q_2 أولا حيث إن الشحنتين موجبتان. إذاً q_1 تتحرك بعيدا عن الشحنة q_2 وعلى امتداد الخط الواصل بينهما ويكون المتجه F_{12} هو اتجاه القوة المؤثرة على الشحنة q_1 نتيجة الشحنة q_2 وطول المتجه يتناسب مع مقدار القوة. وبالمثل نأخذ الشحنتين q_1 وq_3 ونحدد اتجاه القوة F_{13} ثم نحدد F_{14} وهكذا.

٣) هنا نهمل القوى الكهربية المتبادلة بين الشحنات q_2 و q_3 و q_4 لأننا نحسب القوى المؤثرة على q_1.

٤) لحساب مقدار متجهات القوة كل على حده نعوض في قانون كولوم كالتالي:

$$F_{12} = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$
$$F_{13} = K\frac{q_1 q_3}{r^2} \qquad (1\text{-}12)$$
$$F_{14} = K\frac{q_1 q_4}{r^2}$$

٥) تكون محصلة هذه القوى هي F_1 ولكن كما هو واضح على الشكل فإن خط عمل القوى مختلف ولذلك نستخدم طريقة تحليل المتجهات إلى مركبتين كما يلي

$$F_{1x} = F_{12x} + F_{13x} + F_{14x}$$

$$F_{1y} = F_{12y} + F_{13y} + F_{14y}$$

مقدار محصلة القوى

$$F_1=\sqrt{(F_x)^2+(F_y)^2} \qquad (1\text{-}13)$$

واتجاهها

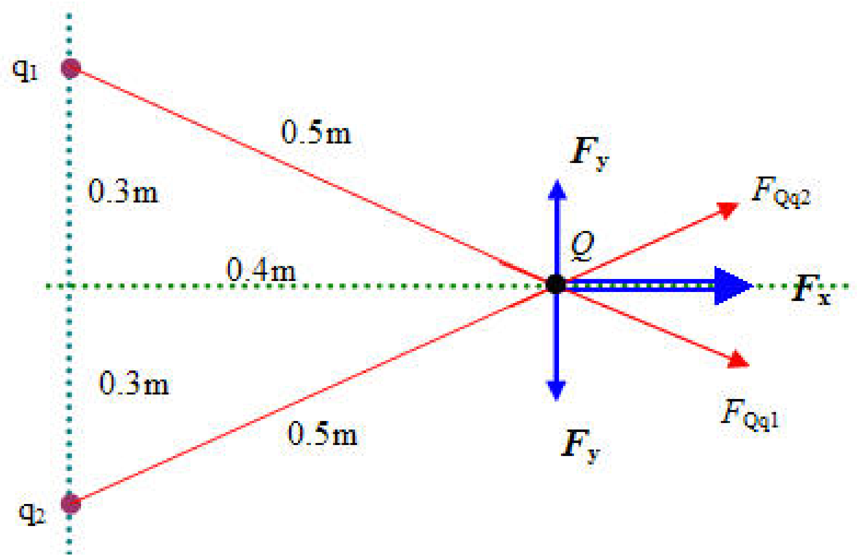
$$\theta=\tan^{-1}\frac{F_y}{F_x} \qquad (1\text{-}14)$$

مثال (١- ١):

في الشكل (١- ٧)

$q_1 = q_2 = q = 2x10^{-6}C$
$Q = 4x10^{-6}C$

أوجد محصلة مقدار القوى الكهربائية المؤثرة على الشحنة Q وكذلك اتجاهها.



شكل (١ – ٧)

الحل:

لإيجاد محصلة القوى الكهربائية المؤثرة على الشحنة Q نطبق قانون كولوم لحساب مقدار القوة التي تؤثر بها كل شحنة على الشحنة Q. وبما أن الشحنتين q1&q2 متساويتان وتبعدان نفس المسافة عن الشحنة Q فإن القوتين متساويتان في مقدار وقيمة القوة

$$F_{Qq1} = K\frac{qQ}{r^2} = 9\times10^9\frac{(4\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(0.5)^2} = 0.29\,N = F_{Qq2}$$

بتحليل متجه القوة إلى مركبتين ينتج:

$$F_x = F\cos\theta = 0.29\left(\frac{0.4}{0.5}\right) = 0.23\,N$$

$$F_y = -F\sin\theta = -0.29\left(\frac{0.3}{0.5}\right) = -0.17\,N$$

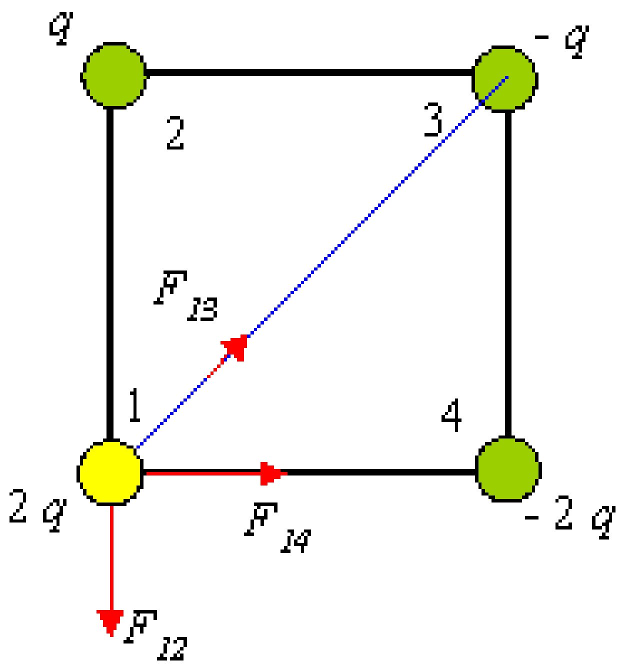
وبالمثل يمكن إيجاد القوة المتبادلة بين الشحنتين $q2$ وQ وهي $F_{Qq}2$ وبالتحليل الاتجاهي نلاحظ أن مركبتي y متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

$$\sum F_x = 2\times0.23 = 0.46\,N$$
$$\sum F_y = 0$$

وبهذا فإن مقدار القوة المحصلة هي ٠,٤٦نيوتن واتجاهها في اتجاه محور x الموجب.

مثال (١- ٢):

احسب محصلة القوى الكهربائية المؤثرة على الشحنة السفلى من الركن الأيسر في المربع شكل (١-٨) لنفترض أن $q = 1\times10^{-7}$ C و $a = 5$cm.



شكل (١- ٨)

<u>الحل:</u>

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

$$F_{12} = K\frac{2qq}{a^2}$$

$$F_{13} = K\frac{2qq}{2a^2}$$

$$F_{14} = K\frac{2q2q}{a^2}$$

لاحظ هنا أننا أهملنا التعويض عن إشارة الشحنات عند حساب مقدار القوى. وبالتعويض في المعادلات ينتج أن:

$F_{12} = 0.072$ N

$F_{13} = 0.036$ N

$F_{14} = 0.144$ N

لاحظ هنا أننا لا نستطيع جمع القوى الثلاث مباشرة لأن خط عمل القوى مختلف، ولذلك لحساب المحصلة نفرض محورين متعامدين x, y ونحلل القوى التي لا تقع على هذين المحورين أي متجه القوة F 13 ليصبح

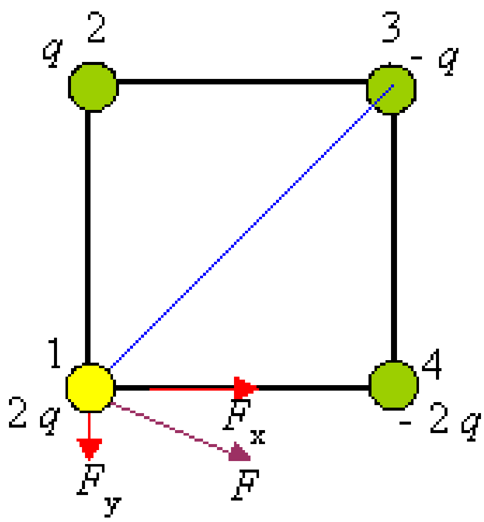
$$F_{13x} = F_{13} \cos 45 = 0.025 \text{ N}$$

$$F_{13y} = F_{13} \sin 45 = 0.025 \text{ N}$$

$$F_x = F_{13x} + F_{14} = 0.025 + 0.144 = 0.169 \text{ N}$$

$$F_y = F_{13y} - F_{12} = 0.025 - 0.072 = -0.047 \text{ N}$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه مركبة القوة في اتجاه محور y السالب شكل(١- ٩).



شكل (١- ٩)

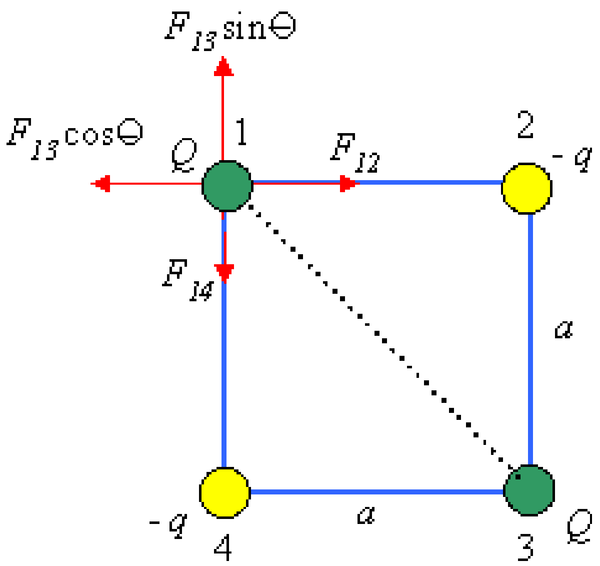
$$F_1 = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} \quad = 0.175$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} \quad = -15.5\,^{o}$$

مثال (١- ٣)

شحنة Q مثبتة في كل من الركنين المتقابلين من مربع شكل (١- ١٠) و شحنة q وضعت في كل من الركنين الآخرين. إذا كانت محصلة القوى الكهربائية على الشحنة تساوي الصفر فكيف تكون العلاقة بين Q و q ؟

الحل:



شكل (١- ١٠)

حتى تكون محصلة القوى الكهربية على الشحنة Q نتيجة الشحنات الأخرى مساوية للصفر، فإنه يجب أن تكون تلك القوى متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه عند الشحنة Q رقم (١) مثلا، وحتى يتحقق ذلك نفرض أن كلتا الشحنتين (٢) و (٤) سالبة و Q (١) و (٣) موجبة ثم نعين القوى المؤثرة على الشحنة (١).

نحدد اتجاهات القوى على الشكل (١- ١٠). بعد تحليل متجه القوة $F13$ نلاحظ أن هناك أربع متجهات قوى متعامدة، كما هو موضح في الشكل أدناه، وبالتالي يمكن أن تكون محصلتهما تساوى صفراً إذا كانت محصلة المركبات الأفقية تساوى صفراً وكذلك محصلة المركبات الرأسية

$F_x = 0 \qquad F_{12} - F_{13x} = 0$

$F_{12} = F_{13} \cos 45$

$$K\frac{Qq}{a^2} = K\frac{QQ}{2a^2}\frac{1}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{Q}{2\sqrt{2}}$$

$$F_y = 0 \Rightarrow \quad F_{13y} - F_{14} = 0$$

$$F_{13}\sin 45 = F_{14}$$

$$K\frac{QQ}{2a^2}\frac{1}{\sqrt{2}} = K\frac{Qq}{a^2} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{Q}{2\sqrt{2}}$$

$$\rightarrow Q = 2\sqrt{2}\,q$$

وهذه هي العلاقة بين Q و q التي تجعل محصلة القوى على Q تساوي صفراً مع ملاحظة أن إشارة q تعاكس إشارة Q أي إن

$$Q = -2\sqrt{2}\;q$$

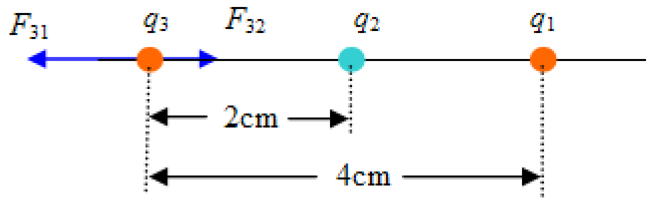
<u>مثال (١-٤):</u>

ثلاث شحنات شكل (١-١١).

$q_1 = 2\text{nC}$
$q_2 = -3\text{nC}$
$q_3 = 5\text{nC}$

تقع على نفس المحور س بحيث q_3 تقع في مركز المحور (س = 0)

ما القوة المحصلة من الشحنتين q_1 و q_2 على الشحنة q_3 ؟



شكل (١-١١)

الحل:

$$F_{31} = \frac{(9\times10^{9})(2\times10^{-9})(5\times10^{-9})}{(0.02)^2} = 2.25\times10^{-4}\,N$$

$$F_{32} = \frac{(9\times10^{9})(3\times10^{-9})(5\times10^{-9})}{(0.04)^2} = 0.84\times10^{-4}\,N$$

حيث إن الشحنة q_1 موجبة فإنها تؤثر على الشحنة q_3 بقوة تنافر مقدارها F_{31} واتجاهها كما هو موضح في الشكل، أما الشحنة q_2 سالبة فإنها تؤثر على الشحنة q_3 بقوة تجاذب مقدارها F_{32}. وبالتالي فإن القوة المحصلة F_3 يمكن حسابها بالجمع الاتجاهي كالتالي:

$$F_3 = F_{31} + F_{32}$$

$$F_3 = 0.84\times10^{-4} - 2.25\times10^{-4} = -1.41\times10^{-4}\,N$$

مثال (١- ٥):

وضعت شحنتان مقدارهما $-10\,\mu c$ و $1\,\mu c$ على بعد 5 cm من بعضهما شكل (١-١٢). عين موضع النقطة التى تنعدم عندها القوة على شحنة ثالثة q.

الحل:

النقطة المطلوبة تقع على الخط الواصل بين الشحنتين . ونظرا لأن الشحنتين مختلفتان فإن هذه النقطة يجب أن تقع خارج الشحنتين من ناحية الشحنة الصغرى . لنفرض أن النقطة المطلوبة تقع على بعد r من الشنحنة $1\,\mu c$ كما هو موضح فى شكل (١- ١٢) ، فيكون

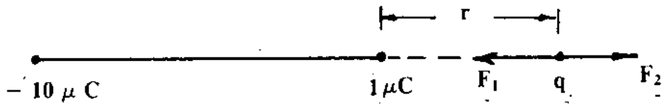
$$F_2 - F_1 = 0$$

أى إن

$$\frac{1\times10^{-6}\,q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} - \frac{10\times10^{-6}\,q}{4\pi\,\varepsilon_0\,(r+0.05)^2} = 0$$

ومنها ينتج أن :

r = 0.0232 meters



شكل (١-١٢)

المجال الكهربائي:

شدة المجال الكهربائي (Electric Field Intensity):

يمكن تعريف شدة المجال الكهربى عند نقطة ما بأنها مقدار القوة المؤثرة على وحدة الشحنات الموجبة الموضوعة عند هذه النقطة . ويحدد اتجاه هذه القوة اتجاه المماس لخط القوة عند هذه النقطة . لذلك فإن وحداتها تكون بالنيوتن لكل كولوم (N/C) ، فإذا وضعت شحنة مقدارها Q كولوم عند نقطة ما في مجال كهربائي وكانت القوة المؤثرة عليها هى F نيوتن فإن شدة المجال الكهربى عند هذه النقطة ، E تكون :

$$E = \frac{F}{Q}\ (N/C) \qquad (1\text{-}15)$$

ويمكن الحصول على شدة المجال الكهربى عند نقطة تبعد مسافة r (متر) عند شحنة مركزة فى نقطة (Point Charge) ومقدارها Q كولوم باستخدام قانون كولوم على النحو التالي :
إذا تصورنا وجود وحدة شحنات موجبة عند النقطة المطلوب إيجاد شدة المجال الكهربائي عندها ، نجد أن القوة المؤثرة على هذه الوحدة هى :

$$F = \frac{Q\times 1}{4\pi\varepsilon_0\ \varepsilon_r \times r^2} \quad N$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r\ r^2}\ N/C \qquad (1\text{-}16)$$

أو

$$E = \frac{9\times 10^9 \times Q}{\varepsilon_r\ r^2} \quad (N/C) \quad or \quad V/m \qquad (1\text{-}17)$$

حيث ϵ_0 الثابت الكهربى ، ϵ_r هي سماحية الوسط . هذا ويمكن تعريف شدة المجال الكهربائى عند نقطة بأنها تساوي عدديا خطوط القوى التى تمر عموديا على وحدة المساحات حول هذه النقطة .

فبالنسبة للشحنة Q نجد أن عدد خطوط القوى التى تخرج منها عبارة عن Q/ϵ . فإذا كانت هذه الخطوط تسقط عموديا حول النقطة المفروضة على مساحة مقدارها $A\ (m^2)$ نجد أن:

$$E = \frac{Q/\varepsilon}{A}$$

ولكن $D = Q/A$ ، حيث D هى الإزاحة الكهربائية أو هى كثافة أنابيب فاراداي على المساحة المفروضة . وبالتالي فإن شدة المجال E عبارة عن :

$$E = Q/\epsilon A = D/\epsilon = D/\epsilon_0 \epsilon_r \qquad (1\text{-}18)$$

لاحظ هنا أن المجال الكهربائي E هو مجال خارجي وليس المجال الناشئ من الشحنة q_o كما هو موضح في الشكل (١- ١٣)، وقد يكون هناك مجال كهربائي عند أية نقطة في الفراغ بوجود أو عدم وجود الشحنة q_o ولكن وضع الشحنة q_o عند أية نقطة في الفراغ هو وسيلة لحساب المجال الكهربي من خلال القوى الكهربائية المؤثرة عليها.

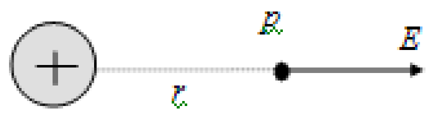


شكل (١- ١٣)

اتجاه المجال الكهربائي :



شكل (١- ١٤ب)

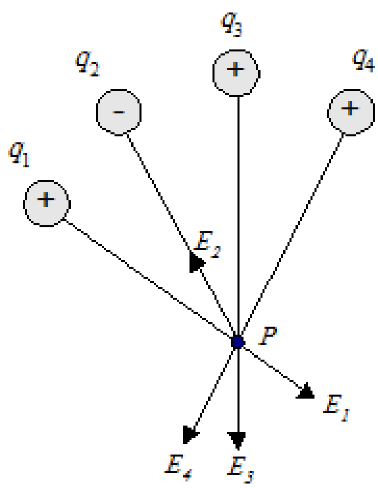


شكل (١- ١٤أ)

يكون اتجاه المجال عند نقطة ما لشحنة موجبة في اتجاه الخروج من النقطة كما في الشكل(١- ١٤أ)، ويكون اتجاه المجال عند نقطة ما لشحنة سالبة في اتجاه الدخول من النقطة إلى الشحنة كما في الشكل (١- ١٤ب).

قيمة و اتجاه المجال الكهربي الناتج عن عدة جسيمات مشحونة عند نقطة معينة:

للحصول على قيمة و اتجاه المجال الكهربي الناتج عن عدة جسيمات مشحونة عند نقطة معينة يجب اتباع الخطوات التالية:



شكل(١- ١٥)

(١) نرقم الشحنات المراد إيجاد المجال الكهربي لها (شكل (١- ١٥)).

(٢) نحدد اتجاه المجال الكهربي لكل شحنة على حدة عند النقطة المراد إيجاد محصلة المجال عندها ولتكن النقطة p، يكون اتجاه المجال خارجاً من النقطة p إذا كانت الشحنة موجبة ويكون اتجاه المجال داخلاً إلى النقطة إذا كانت الشحنة سالبة كما هو الحال في الشحنة رقم (2) شكل (١- ١٥).

(٣) يكون المجال الكهربي الكلي هو الجمع الاتجاهي لمتجهات المجال

$$E_p = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (1\text{-}19)$$

(٤) إذا كان لا يجمع متجهات المجال خط عمل واحد نحلل كل متجه إلى مركبتين في اتجاه محوري x و y

(٥) نجمع مركبات المحور x على حده ومركبات المحور y.

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} + E_{3x} + E_{4x}$$
$$E_y = E_{1y} + E_{2y} + E_{3y} + E_{4y} \quad (1\text{-}20)$$

(٦) تكون قيمة المجال الكهربي عند النقطة الفراغ هي:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (1\text{-}21)$$

(٧) يكون اتجاه المجال هو:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{E_y}{E_x} \quad (1\text{-}22)$$

خطوط المجال الكهربائي:

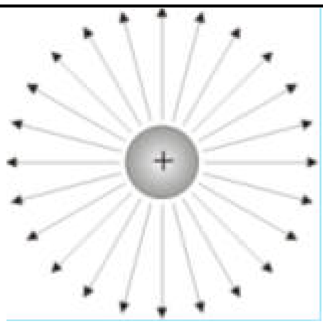
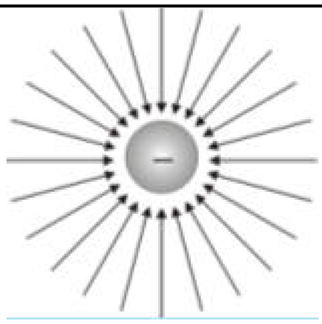
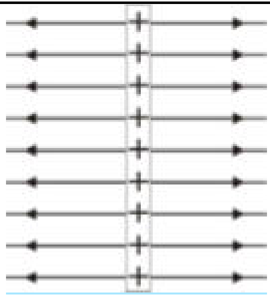
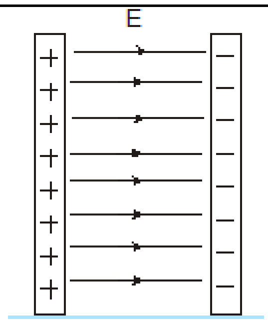
خطوط القوى:

يرجع أصل فكرة خطوط القوى إلى ميشيل فاراداي (١٧٩١- ١٨٦٧) و هي عبارة عن خطوط و همية تستخدم لوصف المجال الكهربائي مقدارا واتجاها. و يبدأ خط القوى من الشحنة الموجبة شكل (١-١٦أ) و ينتهي بالسالبة شكل (١- ١٦ب). و ترسم هذه الخطوط عادة بحيث تتوفر فيها الشروط التالية:

أ- أن يكون المماس لخط القوة الكهربائي عند أية نقطة ممثلا لأتجاه المجال عند هذه النقطة. و يوضح الشكل (١- ١٧) المجال E_A للنقطة A و E_B للنقطة B .

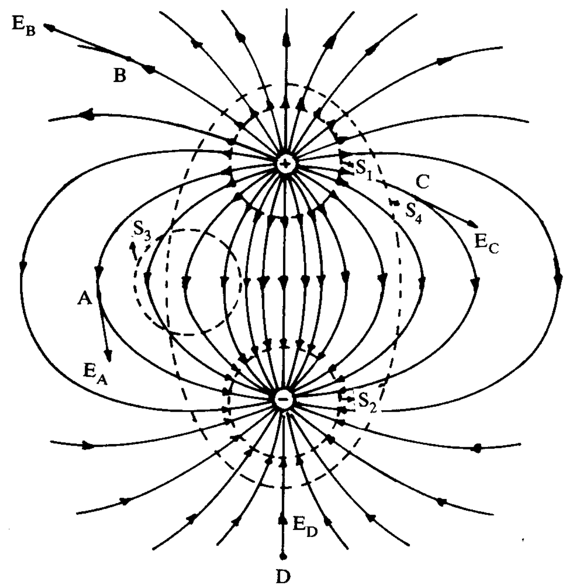
ب- أن يكون عدد خطوط القوى التي تقطع وحدة المساحة المحيطة بنقطة ما ، و تكون عمودية عليها ، مساويا عدديا شدة المجال عند هذه النقطة. و خط القوى الكهربائي يمثل مسار وحدة الشحنة الموجبة داخل المجال الكهربائي.

ج- تخترق خطوط القوى أى سطح موصل فى اتجاه عمودى على هذا السطح.

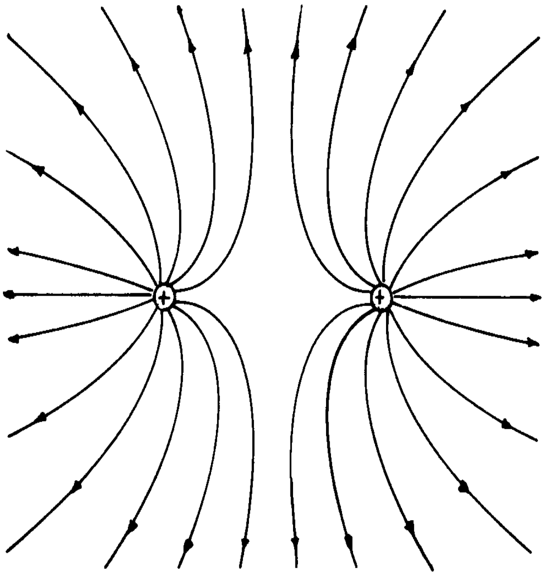
 أ- شحنة موجبة	 ب- شحنة سالبة
 ج- صفيحة طويلة منتظمة الشكل مشحونة بشحنة موجبة	 د- مساحتان مشحونتان

شكل (١- ١٦) بعض الأمثلة لخطوط قوى المجال الكهربائي.

كما يبين الشكل (١- ١٦ج) خطوط القوى لصفيحة طويلة منتظمة الشكل مشحونة بشحنة موجبة و في هذه الحالة تكون الخطوط متعامدة مع مستوى الصفيحة و موازية لبعضها و تكون قيمة واحدة لكل النقاط القريبة من الصفيحة.



شكل (١- ١٧)



شكل (١- ١٨)

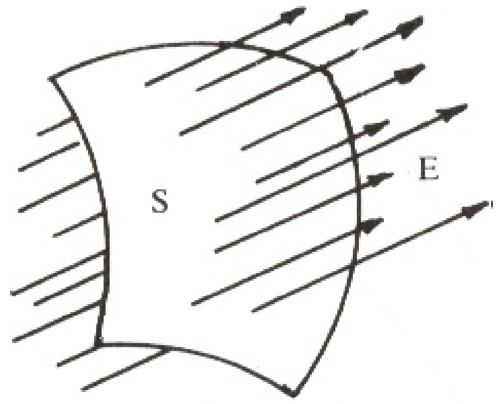
و يمثل شكل (١- ١٧) خطوط القوة في حالة شحنتين إحداهما سالبة و الأخرى موجبة. في هذه الحالة يمثل المجال عند أية نقطة محصلة المجالين الناشئين عن الشحنتين، واتجاهه يمثل المماس لخط القوى الكهربائي. و الشكل يوضح أيضا المجال المحصل عند النقاط D و C و B و A.

كما يمثل شكل (١- ١٨) خطوط القوى حول شحنتين موجبتين.

و إذا حددت بطريقة ما خطوط القوى فإنه يمكن استخدام هذه الخطوط للدلالة على شدة المجال فضلا عن اتجاهه. فإذا كانت E شدة المجال الكهربائي فإن عدد خطوط القوى في وحدة المساحة تكون متساوية على جميع نقط السطح العمودي على هذا المجال.

فإذا كانت مساحة السطح S، شكل (١- ١٩)، فإن العدد الكلي لخطوط القوى المارة خلال هذا السطح هو:

$$N = E.S \qquad (1\text{-}23)$$

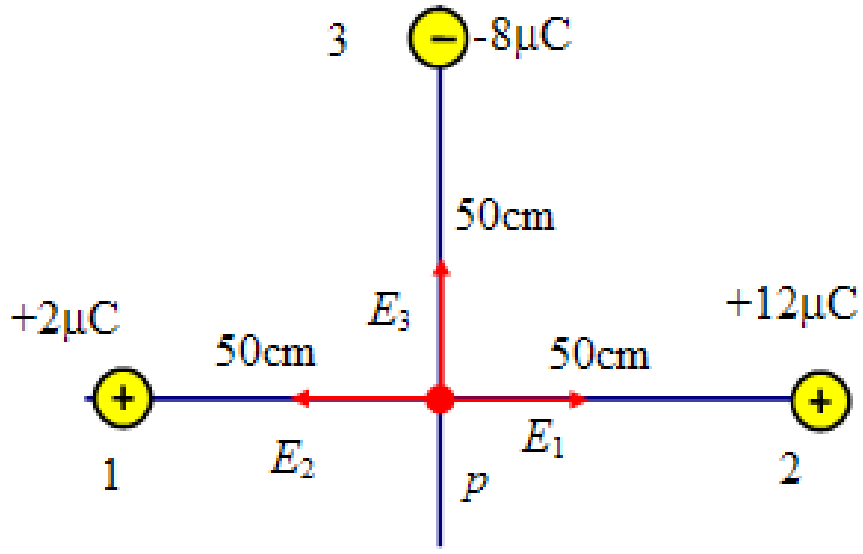


شكل (١- ١٩)

و بذلك يمكن القول بأن شدة المجال عند نقطة ماتمثل مسافة عدد خطوط القوى الكهربائية التي تقطع وحدة المساحة عموديا عند هذه النقطة.

مثال (١- ٦):

أوجد شدة المجال الكهربائي في النقطة الناتجة عن الشحنات المبينة في الشكل(١- ٢٠).



شكل (١- ٢٠)

الحل:

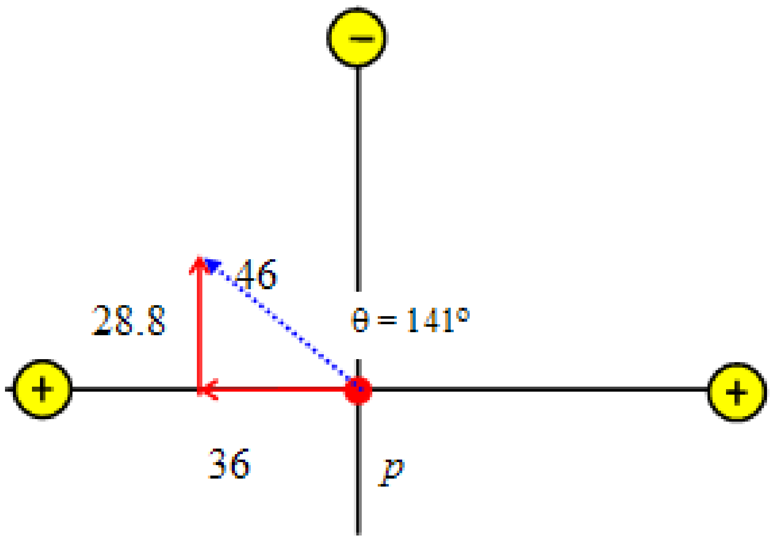
$$\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$E_x = E_1 - E_2 = -36x10^4 N/C$

$E_y = E_3 = 28.8x10^4 N/C$

$E_p = \sqrt{(36\times10^4)^2+(28.8\times10^4)^2} = 46.1 N/C$

$\theta = 141^o$

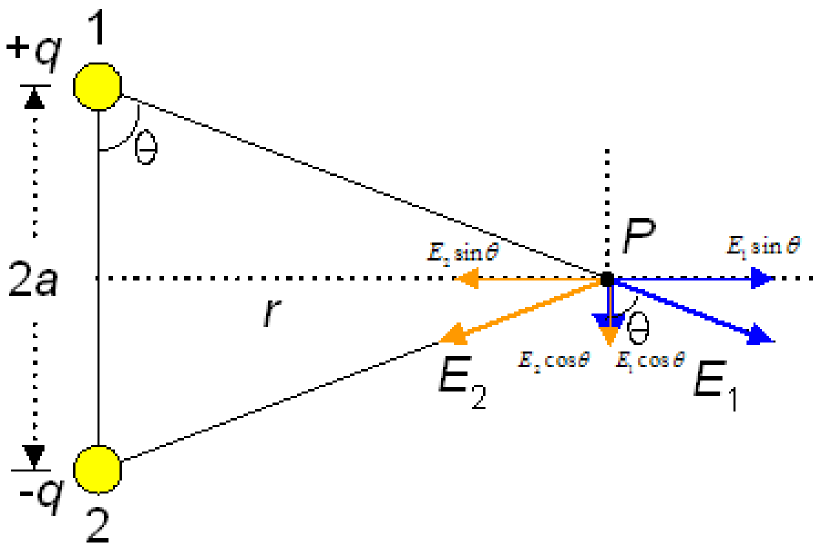


شكل (١- ٢١) محصلة المجال الكهربائي

مثال (١- ٧):

احسب شدة المجال الكهربائي الناتج عن ثنائي القطب شكل(١- ٢٢) على المحور X في النقطة p و التي تبعد عن مركز المحور بمسافة قدرها r

الشحنتان متساويتان و النقطة P تبعد عن الشحنتين بنفس المقدار.



شكل (١- ٢٢)

<u>الحل:</u>

محصلة المجالين (المجال الكلي) عند النقطة P

$$\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

وحيث إن النقطة P تبعد عن الشحنتين بنفس المقدار، والشحنتان متساويتان إذاً المجالان متساويان وقيمة المجال تعطى بالعلاقة

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \frac{q_1}{a^2+r^2} = E_2$$

لاحظ هنا أن المسافة الفاصلة هي ما بين الشحنة والنقطة المراد إيجاد المجال عندها.

نحلل متجه المجال إلى مركبتين كما في الشكل أعلاه

$$E_x = E_1 \sin\theta - E_2 \sin\theta$$

$$E_y = E_1 \cos\theta + E_2 \cos\theta = 2E_1 \cos\theta$$

$$E_p = 2E_1 \cos\theta$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \frac{q}{a^2+r^2}\ \cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}}$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \frac{q}{a^2+r^2}\ \frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}}$$

$$E_p = \frac{2aq}{4\pi\varepsilon_o (r^2+a^2)^{3/2}}$$

اتجاه المجال الكهربائي فى الإتجاه السالب للمحور Y .

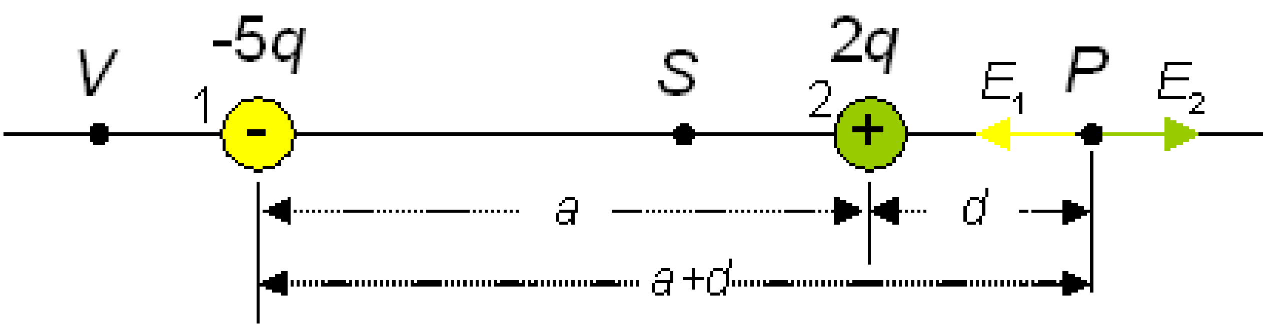
تسمى القيمة 2 aq Electric dipole momentum (*P*)

واتجاهها من الشحنة السالبة إلى الشحنة الموجبة

<u>مثال (١- ٨):</u>

في الشكل (١- ٢٣) حدد النقطة التى تكون فيها قيمة شدة المجال الكهربائي صفراً.

.a = 50cm



شكل (١- ٢٣)

<u>الحل:</u>

تكون محصلة المجال الكهربائي صفراً عندما يتساوى المجالان في القيمة ويتعاكسان في الإتجاه.

لنفترض ٣ نقاط P، V، S ثم نحدد اتجاه كل من E_1 و E_2 عند كل نقطة

<u>عند النقطة S:</u>

E_1 و E_2 في نفس الإتجاه و على هذا فإن E الكلي لا يمكن أن يكون صفراً ما بين الشحنتين.

عند النقطة V:

اتجاه E_1 يتعاكس مع اتجاه E_2 ولكن قيمتهما عير متساوية

عند النقطة P:

شدة المجال E_1 تساوي شدة المجال E_2 ولكن اتجاههما متعاكسين.

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \frac{2q}{(0.5+d)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \frac{5q}{(d)^2}$$

$$d = 30cm$$

لاحظ هنا أنه في حالة الشحنتين المتشابهتين فإن النقطة التي ينعدم عندها المجال تكون بين الشحنتين، أما إذا كانت الشحنتان مختلفتين في الإشارة فإنها تكون خارج إحدى الشحنتين وعلى الخط الواصل بينهما وبالقرب من الشحنة الأصغر.

الجهد الكهربائي:

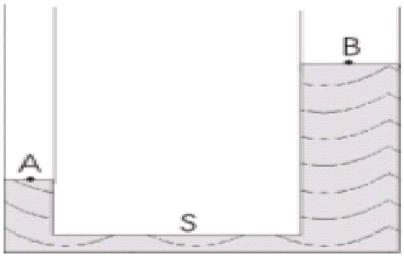
قبل أن نبدأ بتعريف الجهد الكهربائي أو بمعنى أصح فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال شحنة في الفراغ سوف نضرب بعض الأمثلة التوضيحية.

مثال (١)

عند رفع جسم (كتلته m) إلى ارتفاع h فوق سطح الأرض فإننا نقول أن شغلا خارجيا (موجبا) تم بذله لتحريك الجسم ضد عجلة الجاذبية الأرضية، وهذا الشغل سوف يتحول إلى طاقة وضع مختزنة في المجموعة المكونة من كتلة الجسم (m) والأرض. وطاقة الوضع هذه تزداد بازدياد المسافة h لأنه بالطبع سيزداد الشغل المبذول. إذا زال تأثير الشغل المبذول على كتلة الجسم (m) فإنه سيتحرك من المناطق ذات طاقة الوضع المرتفعة إلى المناطق ذات طاقة الوضع المنخفضة حتى يصبح فرق طاقة الوضع مساوياً للصفر.

مثال (٢):

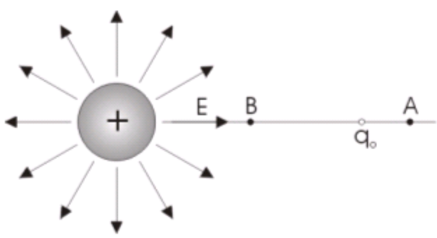
نفرض إناء على شكل حرف U به ماء كما في شكل (١- ٢٤). تكون طاقة الوضع لجزيء الماء عند النقطة B أكبر من طاقة الوضع عند النقطة A ولذلك إذا فتح الصنبور S فإن الماء سوف يتدفق في اتجاه النقطة A إلى أن يصبح الفرق في طاقتي الوضع بين النقطتين AوB مساويا للصفر.



شكل (١-٢٤)

مثال (٣):

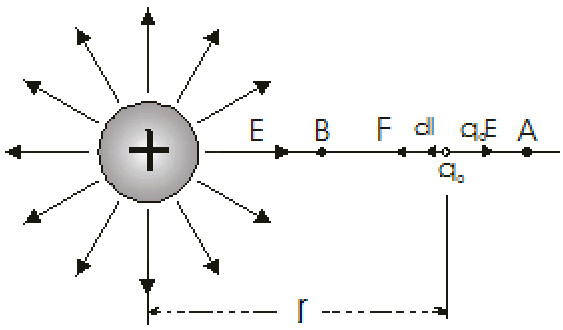
هناك حالة مشابهة تماما للحالتين السابقتين في الكهربائية، حيث نفترض أن النقطتين A&B موجودتان في مجال كهربائي ناتج من شحنة موجبة Q على سبيل المثال كما في شكل (١- ٢٥). إذا كانت هناك شحنة اختبار q_o (مناظرة للجسم m في مجال عجلة الجاذبية الأرضية وكذلك لجزيء الماء عند النقطة B في المثال السابق) موجودة بالقرب من الشحنة Q فإن الشحنة q_o سوف تتحرك من نقطة قريبة من الشحنة إلى نقطة أكثر بعداً أي من B إلى A وفيزيائيا نقول أن الشحنة q_o تحركت من مناطق ذات جهد كهربي مرتفع إلى مناطق ذات جهد كهربي منخفض. ولذلك يكون تعريف فرق الجهد الكهربي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربي شدته E بحساب الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية (F_{ex}) ضد القوى الكهربائية (qE) لتحريك شحنة اختبار q_o من A إلى B بحيث تكون دائما في حالة اتزان (أي التحريك بدون عجلة).



شكل (١- ٢٥)

إذا كانت هنالك بطارية فرق الجهد بين قطبيها 1.5volt فهذا يعنى إنها إذا ما وصلت في دائرة كهربائية، فإن الشحنات الموجبة ستتحرك من الجهد المرتفع إلى الجهد المنخفض. كما حدث في حالة فتح الصنبور في الأنبوبة U وستستمر حركة الشحنات حتى يصبح فرق الجهد بين قطبي البطارية مساوياً للصفر.

ويمكن حساب فرق الجهد V_B-V_A بين نقطتين A و B قريبتين من الشحنة الموجبة q شكل(١-٢٦) كالتالي:



شكل (١- ٢٦)

$$\vec{E}.d\vec{l} = E\cos 180^\circ\, dl = -Edl \qquad (1\text{-}24)$$

$$d\vec{l} = -d\vec{r} \qquad (1\text{-}25)$$

-E dl = E dr

$$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}.d\vec{l} = \int_{r_A}^{r_B} \vec{E}.d\vec{r} \qquad (1\text{-}26)$$

ويمتد هذا المجال نظريا حتى قيمة r تساوى مالانهاية وهى المنطقة التى ينعدم فيها المجال . وعلى ذلك فإن جهد النقطة A تبعا للتعريف هو V_A حيث

$$V_A = -\int_{r=\infty}^{r=R} E.\ dr$$

و المجال الكهربائي عند أية نقطة تبعد مسافة r عن الشحنة :

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \tag{1-27}$$

فرق الجهد $V_B - V_A$

$$V_B - V_A = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_A}^{r_B}\frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right) \tag{1-28}$$

لاحظ هنا أن هذا القانون يستخدم لإيجاد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في الفراغ المحيط بشحنة q.

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \tag{1-29}$$

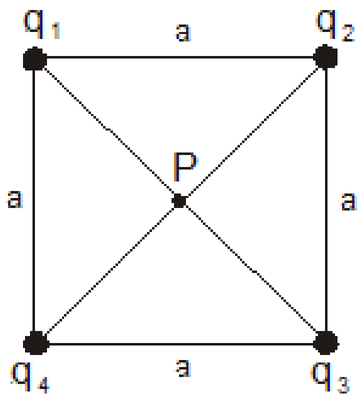
و يلاحظ أن المجال الكهربائي لشحنة يتناسب عكسيا مع مربع المسافة، بينما الجهد الكهربائي يتناسب عكسيا مع المسافة.و أن الجهد كمية قياسية ليس لها اتجاه. ويسمى V_A بالجهد المطلق لنقطة ما .

وإذا كان المجال عند نقطة معينة ناتج عن عدة شحنات Q_1 و Q_2 و Q_3 و ..... Q_n وكانت المسافة بين هذه الشحنات وهذه النقطة على الترتيب هي r_1 و r_2 و r_3 و .....r_n فإن الجهد عند هذه النقطة يعطى بالمعادلة:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} + \dots\dots + \frac{Q_n}{r_n}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_n \frac{Q_n}{r_n} \tag{1-30}$$

<u>مثال (١- ٩):</u>

ما هي قيمة الجهد الكهربائي في مركز المربع المبين في الشكل(١- ٢٧) لنفترض أن
$q_1 = +1\times10^{-8}C$, $q_2 = -2\times10^{-8}C$, $q_3 = +3\times10^{-8}C$, $q_4 = +2\times10^{-8}C$, $a = 1m$



شكل (١- ٢٧)

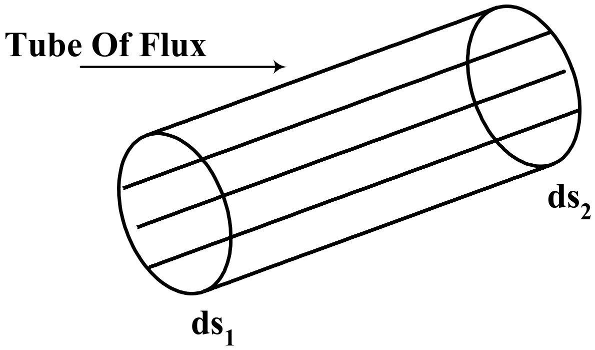
$$V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{r}$$

المسافة r التي تبعد كل شحنة عن مركز المربع هي ٠,٧١ متر

$$V = \frac{9\times10^9 (1-2+3+2)\times10^{-8}}{0.71} = 500V$$

الفيض الكهربائي (أنابيب الفيض):

تعرف وحدة أنابيب الفيض بأنها تلك التى تكون الشحنة عند كل من طرفيها عبارة عن وحدة الشحنات. وفى مجموعة الوحدات العملية المنسقة تعرف وحدة أنابيب الفيض بأنها الأنبوبة التى تبدأ عند وحدات شحنات موجبة مقدارها كولوم وتنتهى عند وحدات شحنات سالبة مقدارها كولوم أيضا وتسمى وحدة لأنابيب هذه بأنبوبة فارادای كما موضح فى شكل (١- ٢٨).



شكل (١- ٢٨) أنبوبة فاراداي

فإذا كانت الشحنة على موصل مقدارها Q كولوم فإن عدد أنابيب فاراداي التى تبدأ منه أو تنتهى إليه تساوي Q كولوم أيضا . وتسمى أنابيب فاراداي التى تمر من خلال سطح موجود فى مجال كهربى بالفيض الكهربائى . ويرمز للفيض الكهربائي بالرمز ψ ، ونظرا لأن الفيض الكهربائي (مقاسا بأنابيب فاراداي) يساوي الشحنة بالكولوم عدديا ، وكذلك نجد أن :

$$\Psi = Q \quad \text{coulombs}$$

إذا كانت وحدة أنابيب الفيض تحتوي على عدد معين من خطوط القوى يساوي ε ، حيث ε هى سماحية الوسط المار فيه أنبوبة الفيض ، فإن عدد خطوط القوى الناتج من شحنة مقدارها Q يساوي $\frac{Q}{\varepsilon}$.

كثافة الفيض الكهربائى (اللإزاحة الكهربائية) :

وهذه عبارة عن الفيض الكهربائى العمودي على وحدة المساحات . فإذا مر فيض كهربي عموديا على مساحة مقدارها $A\ (m^2)$ ، وكانت قيمة الفيض Ψ كولوم نجد أن الإزاحة الكهربائية عبارة عن :

$$D = \frac{\psi}{A} \quad C/m^2 \qquad (1\text{-}31)$$

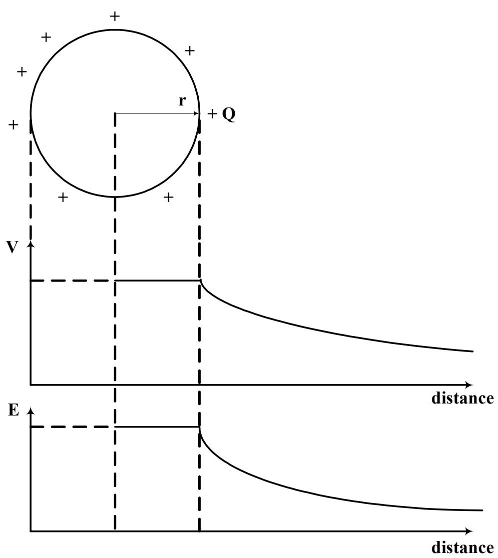
والعلاقة بين شدة المجال الكهربائى E أوالإزاحة الكهربائية D هى :

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r \ E \qquad (1\text{-}32)$$

وهذا يعنى أنه فى أى وسط ذى سماحية وسط ϵ_r يكون حاصل ضرب قيمة شدة المجال الكهربائى E عند أية نقطة فى سماحية الوسط مساويا لقيمة الإزاحة الكهربية عند هذه النقطة. وتكون الازاحة الكهربية D كمية متجهة مثل شدة المجال الكهربائى E وتأخذ اتجاهها إلا أن قيمتها تكون مختلفة عن قيمة E .

جهد الكرة:

عندما تكون الكرة جوفاء بالنسبة للكرة المشحونة بشحنة Q+ نجد أن الجهد متساو عند أية نقطة داخلها وكذلك شدة المجال الكهربى ، بينما يتناسب عكسيا مع المسافة خارجها كما هو موضح فى شكل(١- ٢٩) وذلك بالنسبة للكرة المفرغة من الداخل أو الخالية وهى التى يطلق عليها قشرة كروية .



شكل (١- ٢٩)جهد الكرة

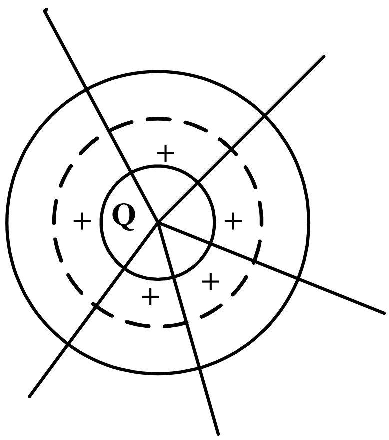
الجهد وشدة المجال داخل كرة مادة موصلة:

لقد وجد بالتجربة أنه إذا اكتسب أى جسم موصل شحنة كهربائية فإنها تستقر على سطحه الخارجي ، ففي حالة الجسم الذى على شكل كرة سواء كانت هذه الكرة مصمتة أو جوفاء فإن الشحنة تستقر على السطح الخارجي ، وعلى ذلك نجد فى هذه الحالة أن :

١. الفيض الكهربى داخل الكرة يساوي صفراً $\Psi = 0$
٢. شدة المجال الكهربى داخل الكرة تساوي صفراً .
٣. جميع النقط داخل الكرة لها نفس الجهد الموجود على سطح الكرة.
٤. الشحنة داخل الكرة تساوي صفراً.

السطوح متساوية الجهد:

يكون السطح متساوي الجهد عندما يكون الجهد ذا قيمة واحدة عند جميع النقط على هذا السطح ويسمى سطح متساوي الجهد ، وتكون السطوح المحيطة بكرة مشحونة خارجها متساوية الجهد كما هو موضح فى شكل (١- ٣٠).



شكل (١- ٣٠) السطوح متساوية الجهد

يتضح مما سبق أن المجال الكهربى يتميز برسم تخطيطي يحتوي على :
(أ)خطوط القوى ، وهى تبين اتجاه قوى المجال .
(ب)سطوح الجهد المتساوي ، وهى تبين المحلات الهندسية فى الفراغ ذات الجهد المتساوي . وتقطع خطوط القوى دائما سطوح الجهد المتساوي على التعامد .

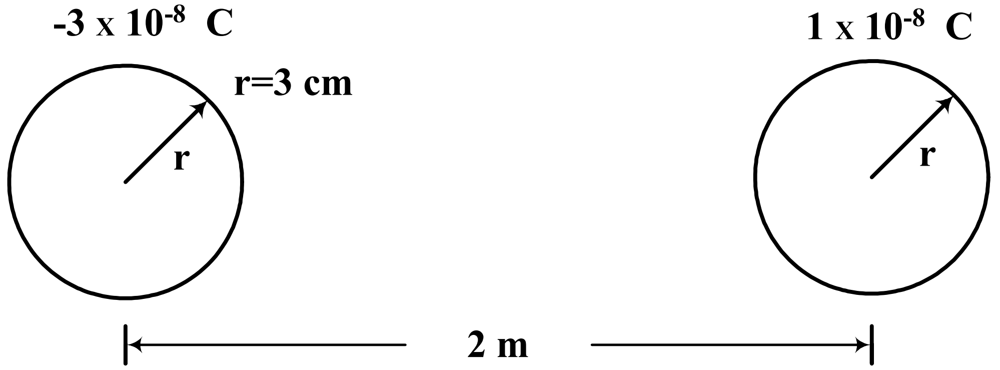
مثال (١- ١٠):

كرتان معدنيتان نصف قطر كل منهما 3 cm وإحداهما تحمل شحنة مقدارها 1×10^{-8} C والأخرى تحمل شحنة مقدارها -3×10^{-8} وكل موزعة بانتظام . فإذا كانت المسافة بين مركزيهما 2 m ، احسب :
(أ) الجهد الكهربائى عند نقطة فى منتصف المسافة بين مركزيهما.
(ب) الجهد الكهربائى لكل كرة .

الحل:

(أ) سوف نوجد الجهد عند نقطة خارج كرة مشحونة (عند منتصف المسافة بين الكرتين) كما هو يوضح شكل (١- ٣١) :

$$V = V_1 + V_2$$



شكل (١- ٣١)

حيث الجهد V يمكن حسابه من العلاقة:

$$V = \frac{q}{4 \pi \varepsilon_0 r}$$

تظهر الشحنة وكأنها مركزة فى المركز وتعطى الجهد

$$V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-8}}{1} = 90 \quad V$$

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-8}}{1} = -270 \quad V$$

$$V = 90 - 270 = -180 \quad V$$

(ب)جهد كل كرة : الجهد على سطح كرة موصلة هو جهد متساو ويعطى بالعلاقة :

$$V = \frac{q}{4 \pi \varepsilon_0 r} \quad V$$

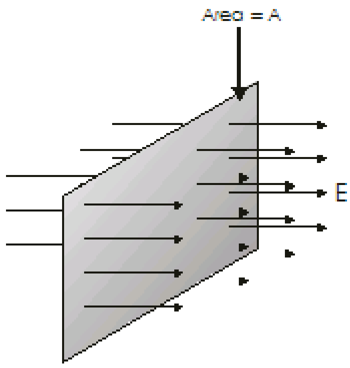
حيث r هو نصف قطر الكرة. ففى حالة الكرة الأولى (شحنة سالبة) يكون الجهد :

$$Vv_{-} = 9 \times 10^{9} \times \frac{-3 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-2}} = -9000 \qquad V$$

وفى حالة الكرة الثانية يكون الجهد :

$$Vv_{+} = 9 \times 10^{9} \times \frac{1 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-2}} = 3000 \qquad V$$

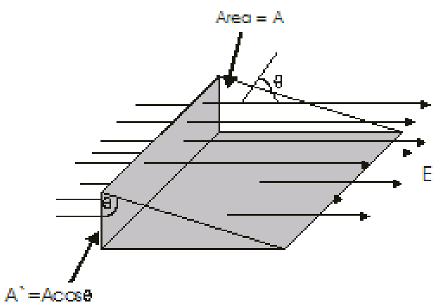
الفيض الكهربائي الناتج عن مجال كهربائي:



شكل (١- ٣٢)

$$\Phi = \vec{E}\,\vec{A} \qquad (1\text{-}33)$$

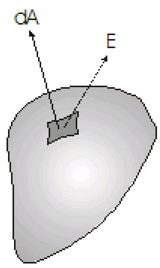
وحدة الفيض الكهربائي: $N.m^2 / C$



شكل (١- ٣٣)

$$\Phi = \vec{E}\,\vec{A}' = E\,A\cos\theta \qquad (1\text{-}34)$$

إذاً يكون الفيض ذا قيمة عظمى عندما يكون السطح عمودياً على المجال أي $\theta = 0$ ويكون ذا قيمة صغرى عندما يكون السطح موازياً للمجال أي عندما $\theta = 90$. لاحظ هنا أن المتجه $\vec{A}$ هو متجه المساحة وهو عمودي دائما على المساحة وطوله يعبر عن مقدار المساحة.



شكل(١- ٣٤)

$$\Phi = \oint \vec{E}.\vec{A} \qquad (1\text{-}35)$$

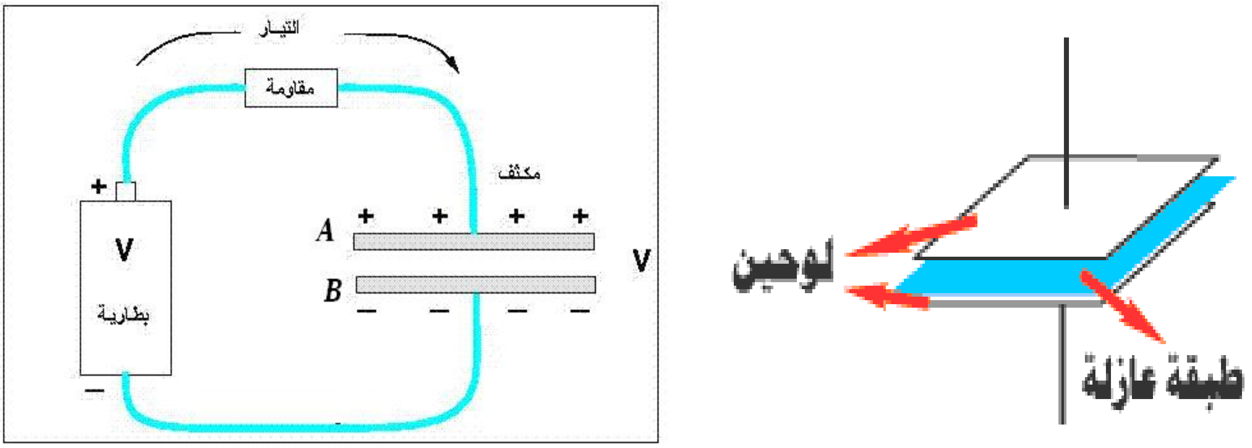
والمقصود بـ net number of lines أي عدد الخطوط الخارجة من السطح (إذا كانت الشحنة موجبة) - عدد الخطوط الداخلة إلى السطح (إذا كانت الشحنة سالبة).

الفصل الثاني
المكثفات الكهربائية

تعريف المكثف:

المكثف هو جهاز يستعمل لتخزين الطاقة الكهربائية بفعل الإجهاد الكهروستاتيكي فى المادة العازلة (Electrostatic Stress) . ويتكون المكثف أساسا من سطحين موصلين تفصل بينهما طبقة من مادة عازلة يطلق عليها اسم العازل الكهربائي شكل(٢- ١أ). وسعة المكثف (Capacitance) تعطي مقياسا لقدرة المكثف على اختزان الطاقة عند فرق جهد معين بين سطحيه. وهى تعطى أيضا مقياسا لقدرة المكثف على اختزان الشحنة عند فرق جهد معين .

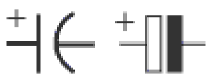
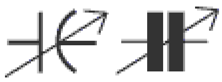
يبين شكل (٢- ١ب) مكثفاً يتكون من لوحين متوازيين A و B حيث اللوح A موصل مع الطرف الموجب للبطارية واللوح B موصل مع الطرف السالب، وقد يكون موصلا بالأرض. وقد وجد بالتجربة أنه فى حالة وجود اللوح B وتوصيله بالأرض فإن اللوح A يمكن أن يستوعب شحنة أكبر بكثير من تلك التى يستوعبها عند عدم وجود اللوح B . وعند توصيل اللوحين A و B إلى البطارية يسري تيار وقتي حيث يتم سحب الإلكترونات من اللوح A الذى يصبح موجب التكهرب ، وتضاف هذه الالكترونات إلى اللوح B حيث يصبح سالب التكهرب ، ويذلك يصبح هناك فرقا فى الجهد بين اللوحين A و B يساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية عندما تتوقف عملية انتقال الإلكترونات من اللوح A إلى اللوح B ويتوقف بذلك مرور التيار الوقتي ، الذى يمثل تيار الشحن فى هذه الحالة . ومن الواضح أن تيار الشحن يكون بأكبر قيمة له . بمجرد توصيل اللوحين بطرفي البطارية وقبل أن يكتسبا أية شحنة يتناقص التيار تدريجيا حتى يتوقف تماما ويساوي الصفر عندما يصبح فرق الجهد بين اللوحين مساويا للقوة الدافعة الكهربية للبطارية .



(أ) (ب)

شكل (٢- ١) مكثف مكون من لوحين متوازيين

رمزالمكثف C:

مكثف عادي	مكثف مستقطب	مكثف متغير
		

شكل (٢- ٢) رموز أنواع المكثفات.

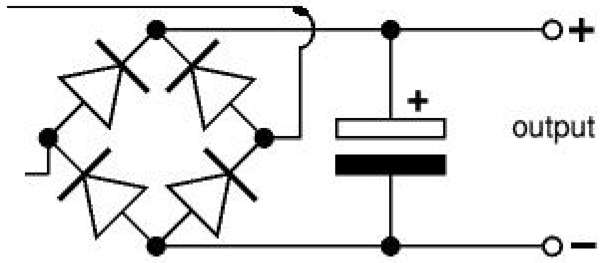
وظيفة المكثف:

يسمح المكثف بمرور التيار المتغير المكافىء للإشارة اللاسلكية أو الموسيقى والكلام ويمنع مرور جهد التغذية المستمر أو يختزنه.

استخدامات المكثف:

يستخدم المكثف فى:

١- دوائر التوحيد لتنعيم الموجة شكل(٢- ٣).



شكل (٢- ٣) دائرة توحيد لتنعيم الموجة

٢- ربط الدوائر.

٣- ضبط موجة المذياع.

٤- دوائر المذبذبات لتحويل التيار المستمر إلى متردد.

٥- دوائر التوقيت.

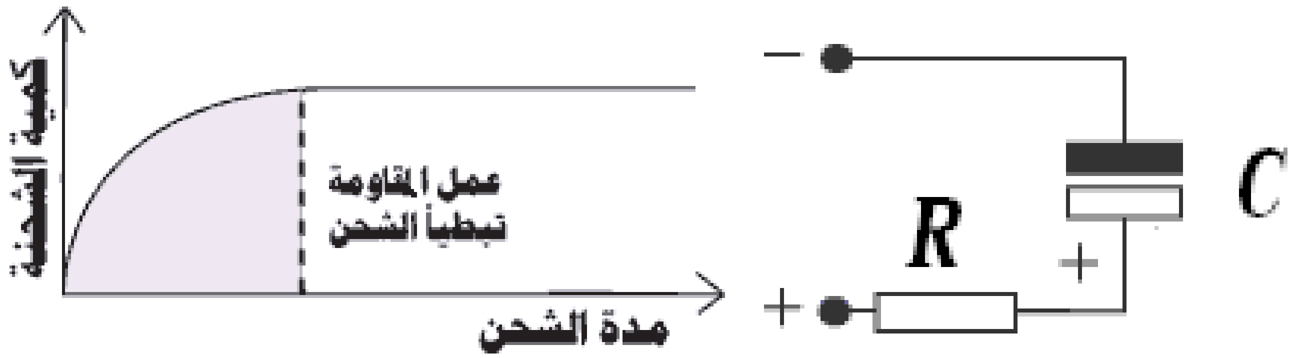
٦- يستخدم المكثف الكيميائي كبير السعة في دوائر فلاش كاميرا التصوير حيث يخزن شحنات كهربية عالية.

٧- دوائر الترشيح والفلترة.

عملية التفريغ والشحن:

يستخدم المكثف في شحن الشحنات الكهربائية وهي مشابهة لعمل البطارية ولكن الفرق إنها تكون خطرة إذا شحنت أعلى من جهدها ويتم تفريغها بواسطة مقاومة لتحديد عملية التفريغ.
وتتم عملية التفريغ والشحن بطريقتين:

على التوالي (شحن المكثف):
توصيل المكثف و المقاومة على التوالي شكل (٢- ٤أ) و يتم الشحن تدريجيا و تعمل المقاومة هنا على عملية تبطئ شحن المكثف و ضبط الثابت الزمنى للشحن كما هو موضح في الشكل (٢- ٤ب).



(ب) (أ)

شكل (٢- ٤) شحن المكثف

الثابت الزمنى بالثوانى= (قيمة المقاومة بالأوم x قيمة المكثف بالفاراد) = (R C)

على التوازي (تفريغ المكثف):



(ب) (أ)

شكل (٢- ٥) تفريغ المكثف.

السعة :

تسمى خاصية قدرة المكثف على اختزان الطاقة الكهربية بالسعة . وتعرف سعة المكثف بأنها كمية الشحنة اللازمة لإيجاد فرق جهد بين لوحيه يساوى الوحدة ، فإذا اكتسب أحد اللوحين فى مكثف شحنة مقدارها Q كولوم ، مما يؤدى إلى جعل فرق الجهد بين طرفيه V فولت فإنه على حسب التعريف السابق تصبح قيمة السعة C بالفاراد عبارة عن :

$$C = Q / V \qquad F\ (Coulomb / Volt) \qquad (2\text{-}1)$$

العوامل التى تعتمد عليها سعة المكثف :

١- مساحة اللوحين. فإنه كلما زادت مساحة الألواح المكونة للمكثف زادت سعته وإذا قلت مساحة الألواح قلت السعة (تناسب طردي).

٢- المسافة بين اللوحين. فإنه كلما زادت المسافة بين اللوحين قلت السعة وقلما قلت المسافة زادت السعة (تناسب عكسي).

٣- نوع العازل المستعمل. فإنه تزيد سعة المكثف باستعمال عازل آخر خلاف الهواء. وتختلف سعة المكثفات على حسب نوع العازل ، وأقل سعة للمكثفات يكون فيها العازل من الهواء، وعند تغيره بعازل آخر فإن السعة تزيد حسب نوع المادة.

سعة المكثف تقاس بوحدة تسمى الفاراد. farad

ويكون تعريف الفاراد فى هذه الحالة أنه سعة المكثف الذى يصبح فرق الجهد بين لوحيه فولتاً واحداً عندما يكتسب شحنة تساوى كولوم واحد . والفاراد يعتبر وحدة كبيرة جدا من الناحية العملية ولذلك يستعمل عادة الميكروفاراد($1\mu\ F = 10^{-6}\ F$) فى تحديد قيمة السعة .

وبما أن قيمة الفاراد الواحد عالية جدا لسعة مكثف فإنه من المناسب استخدام أجزاء من الفاراد للتعبير عن سعة المكثف مثل المايكروفاراد μF أو النانوفاراد nF أو البيكوفاراد pF

الاختصار	Prefix	المسمى	القيمة بالمراد	أو
p	pico	بيكو	0.000000000001	10^{-12}
n	nano	نانو	0.000000001	10^{-9}
µ	micro	مايكرو	0.000001	10^{-6}
m	milli	ملي	0.001	10^{-3}

سعة مكثف متوازى اللوحين:

(١)عندما يكون بين اللوحين عازل كهربائى:

يوضح شكل (٢- ٦) مكثفاً مكوناً من لوحين متوازيين M و N مساحة كل منهما A متر مربع ويفصل بينهما عازل معامله النسبي ϵ_r والمسافة بينهما d متر . إذا اكتسب اللوح M شحنة مقدارها Q كولوم فإن الفيض الذى يمر وسط اللوحين يكون مقداره $Q = \psi$ وتكون كثافة الفيض (الإزاحة الكهربائية) :

$$D = \psi / A = Q / A \qquad (2\text{-}2)$$

وتكون شدة المجال الكهربائى E عبارة عن :

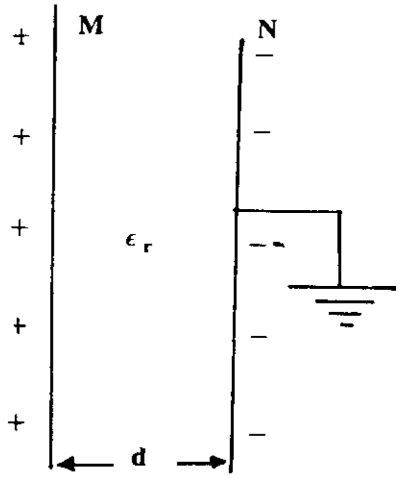
$$E = V / d \quad , \quad D = \epsilon E \qquad (2\text{-}3)$$

من المعادلات (2-2) و (2-3) ينتج أن السعة C عبارة عن :

$$C = Q / V = \epsilon A / d \quad F \quad = \frac{D\,A}{(D/\varepsilon).d} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث إن

$$\varepsilon = \varepsilon_0\, \varepsilon_r$$



شكل (٢- ٦) مكثف متوازي اللوحين بينهما عازل.

(٢)عندما يشغل عازل مسافة بين اللوحين و باقى الحيز هواء:

نفرض أن المادة العازلة التى معامل عزلها النسبى ϵ_r تشغل مسافة سمكها t_2 متر فى الحيز بين اللوحين ويكون باقي الحيز الذي سمكه t_1 متر هواء كما موضح فى شكل (٢- ٧) . تكون كثافة الفيض الكهربى واحدة فى المادة العازلة والهواء على السواء حيث :

$$D = \psi / A$$

ولكن شدة المجال الكهربى تختلف على حسب الوسط فيكون E_1 فى الهواء و E_2 فى المادة العازلة حيث:

$$E_1 = D / \epsilon_0 \, \epsilon_{r1}$$
$$E_2 = D / \epsilon_0 \, \epsilon_{r2}$$

ويكون فرق الجهد بين اللوحين V عبارة عن:

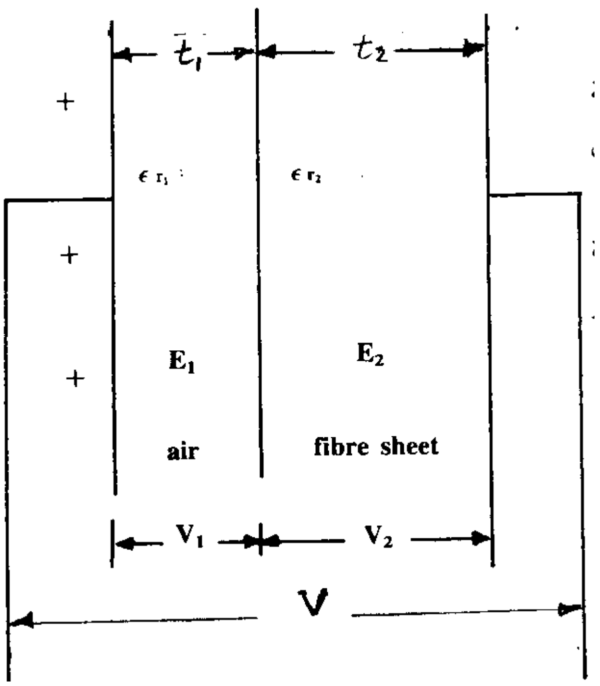
$$V = E_1.t_1 + E_2.t_2$$

$$= [(D / \epsilon_0 \, \epsilon_{r1})] \, t_1 + [D / \epsilon_0 \epsilon_{r2}] \, t_2$$

$$= (D / \epsilon_0) \, [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2})] = (Q / \epsilon_0 \, A) \, [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2})]$$

ولذلك تكون السعة بين اللوحين C عبارة عن :

$$C = Q / V = \epsilon_0 \, A / [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2})] \qquad (2\text{-}5)$$



شكل (٢- ٧) مكثف متوازي اللوحين بينهما عازل وحيز من الهواء

(٣)عندما يشغل الحيز بين اللوحين أكثر من عازل:

نفرض أنه توجد ثلاث مواد عازلة بين اللوحين ومعاملات العوازل النسبية لها هى ϵ_{r1} و ϵ_{r2} و ϵ_{r3} وسمك كل طبقة عازلة هى t_1 و t_2 و t_3 متر على الترتيب كما موضح فى شكل (٢- ٨) ، وبالتالى نجد أن :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = E_1 \,.\, t_1 + E_2 \,.\, t_2 + E_3 \,.\, t_3$$

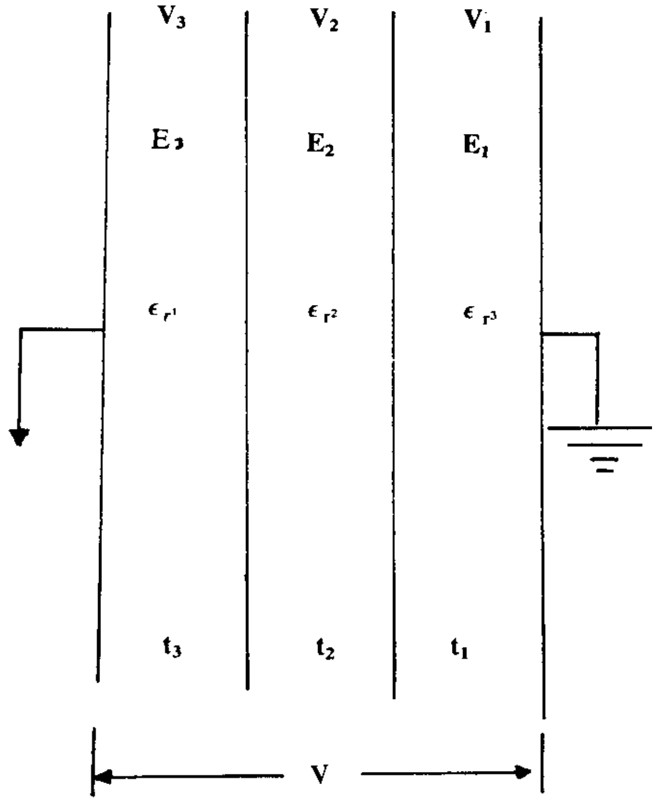
$$V = [\, D / \epsilon_0\, \epsilon_{r1} \,]\, t_1 + [\, D / \epsilon_0\, \epsilon_{r2} \,]\, t_2 + [\, D / \epsilon_0\, \epsilon_{r3} \,]\, t_3$$

$$= (D / \epsilon_0)\, [\, (t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2}) + (t_3 / \epsilon_{r3})\,]$$

$$= (Q / \epsilon_0\, A)\, [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2}) + (t_3 / \epsilon_{r3})\,]$$

وبالتالي نحصل على السعة C فى الصورة :

$$C = Q / V = \epsilon_0\, A / \,[(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2}) + (t_3 / \epsilon_{r3})\,] \qquad (2\text{-}6)$$



شكل (٢- ٨) مكثف متوازي اللوحين بينهما أكثر من عازل.

(٤) المكثفات متعددة الألواح ومتغيرة السعة:

تتكون هذه المكثفات من مجموعتين من الألواح كل مجموعة على حامل بحيث يمكن تحريك إحدى المجموعتين داخل أو خارج المجموعة الأخرى لكي يمكن الحصول على قيمة متغيرة للسعة. ويكون الهواء هو العازل الكهربى بين الألواح حيث يفصل بينه بمسافات متساوية كل منها d متر . فإذا كانت A هى مساحة كل لوح من الألواح بالمتر المربع وعدد هذه الألواح n ، نجد أنه يتكون عدد من المكثفات عددها (n – 1) وتعطى سعة مقدارها C بحيث :

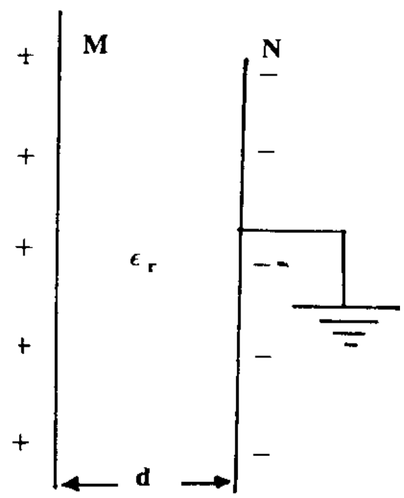
$$C = \frac{(n-1)\ \varepsilon_0\ \ A}{t}\ \text{Farad} \qquad (2\text{-}7)$$

<u>مثال (٢- ١):</u>

مكثف متوازي اللوحين مساحة كل من لوحيه $3\ m^2$ والمسافة بينهما 0.3 cm والوسط بينهما فراغ ، فإذا كان فرق الجهد بين لوحي المكثف 15000 V ، إحسب :

(أ) سعة المكثف (ب) الشحنة على كل لوح (ج) شدة المجال والإزاحة الكهربية بين اللوحين .

<u>الحل:</u>



شكل (٢-٩)

(أ) كما هو موضح فى شكل (٢- ٩) نحسب سعة المكثف من العلاقة:

$$C = \varepsilon_0\ A / d = (8.854 \times 10^{-12} \times 3) / (0.3 \times 10^{-2}) = 8.854 \times 10^{-3}\ \mu F$$

سنوجد الشحنة على كل لوح من العلاقة:

$$Q = C\,V = 8.854 \times 10^{-3} \times 15000 = 132.75 \times 10^{-6} \quad C$$

ويمكن حساب شدة المجال E بين اللوحين من العلاقة :

$$E = Q / (\varepsilon_0 A) = (132.75 \times 10^{-6}) / (8.854 \times 10^{-12} \times 3) = 5 \times 10^{6} \quad V/m$$

ويمكن حساب شدة المجال E بين اللوحين أيضا من العلاقة :

$$E = V / d = 15000 / (3 \times 10^{-3}) = 5 \times 10^{6} \quad V/m$$

ونوجد الإزاحة الكهربية D كالآتى :

$$D = \varepsilon_0 E = 8.854 \times 10^{-12} \times 5 \times 10^{6} = 44.25 \times 10^{-6} \quad C/m^2$$

مثال (٢- ٢):

مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $50\ cm^2$ وسمكه 1cm وإذا أدخلت طبقة عازلة بين اللوحين لها سماحية نسبية مقدارها 4 وسمكها 0.7 cm ، وبقية المسافة بين اللوحين هواء. وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 10 V ، احسب السعة الكلية للمكثف .

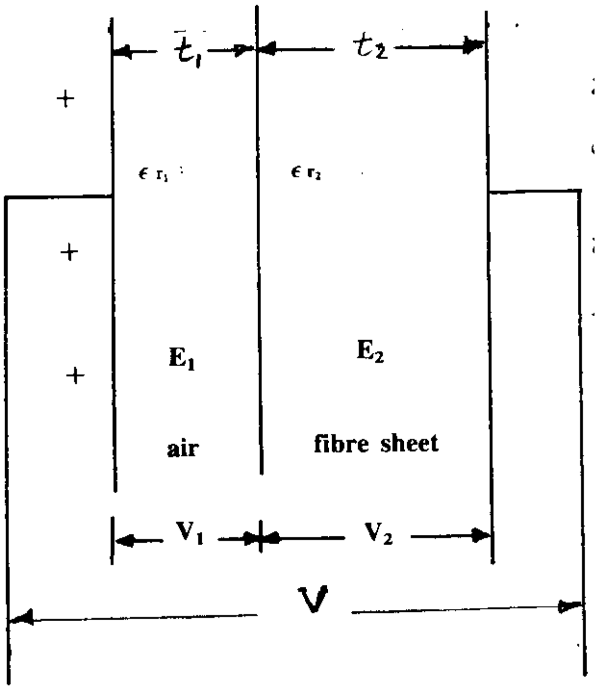
الحل:

سعة المكثف فى هذه الحالة تعطى من العلاقة (2-5) :

$$C = \epsilon_0 A / [(t_1/\epsilon_{r1}) + (t_2/\epsilon_{r2})]$$

حيث A هي مساحة اللوح ، t_1 و t_2 هما سمكا طبقة الهواء وطبقة العازل على الترتيب كما هو موضح في شكل (٢- ١٠) وبالتالي فإن :

$$C = (8.854 \times 10^{-12} \times 50 \times 10^{-4}) / [(7/4) + (3/1)] \times 10^{-3}$$
$$= 9.32 \quad PF$$



شكل (٢- ١٠)

<u>مثال (٢- ٣):</u>

مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $2\ m^2$ ، ويفصل بينها ثلاث طبقات من عوازل مختلفة ذات سماحية نسبية (6 , 3 , 2) وسمك (0.4 , 0.6 , 1.2 mm) على الترتيب. فإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 1000 V إحسب : (أ) السعة الكلية للمكثف ، (ب) شدة المجال الكهربى فى كل طبقة .

<u>**الحل:**</u>

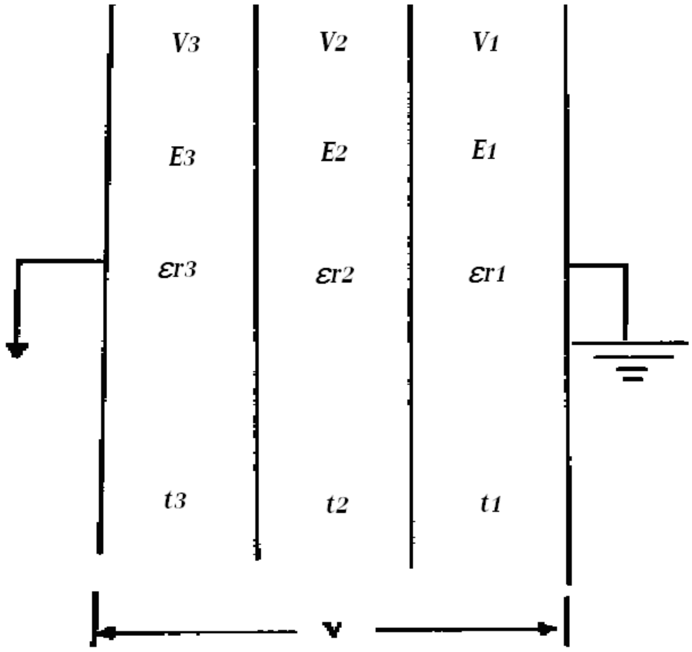
كما هو موضح فى شكل (٢- ١١) يمكننا حساب السعة C من العلاقة (2-6) كما يلي :

$$C = Q / V = \epsilon_0\ A / \left[(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2}) + (t_3 / \epsilon_{r3}) \right]$$

$$C = \frac{8.854 \times 10^{-2} \times 2}{\frac{0.4 \times 10^{-3}}{2} + \frac{0.6 \times 10^{-3}}{3} + \frac{1.2 \times 10^{-3}}{6}} = 0.0295\ \ \mu F$$

$$Q = C\,V = 0.0295 \times 10^{-6} \times 1000 = 29.5 \times 10^{-6}\ \ C$$

$$D = Q / A = 29.5 \times 10^{-6} / 2 = 14.75 \times 10^{-6}\ \ C / m^2$$



شكل (٢- ١١)

وحيث إن الإزاحة الكهربية D ثابتة فى الطبقات العازلة ، لذلك فإنه يمكن حساب شدة المجال الكهربى فى كل طبقة عازلة كالآتي :

$$E_1 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 2) = 833.3 \ KV/m$$

$$E_2 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 3) = 555.4 \ KV/m$$

$$E_3 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r3} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 6) = 277.7 \ KV/m$$

مثال (٢- ٤):

مكثف ذو ألواح متوازية يتكون من 15 لوحا مساحة كل منها $0.25 \ m^2$ ويفصل بين كل لوحين عازل سمكه 0.2 cm وسماحيته النسبية 3 ، احسب سعة هذا المكثف.

الحل:

إيجاد سعة هذا المكثف نستخدم هذه العلاقة(2-7):

$$C = \frac{(n-1) \ \varepsilon_0 \ \varepsilon_r \ A}{t} \quad \text{Farad}$$

أي إن

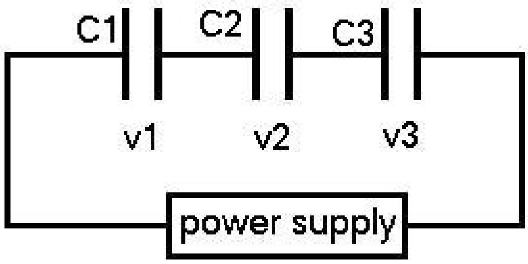
$$C = \frac{14 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 3 \times 0.25}{2 \times 10^{-3}} = 46.48 \times 10^{-3} \quad \mu F$$

توصيل المكثفات:

توصل المكثفات إما على التوالي أو التوازي للحصول على قيمة معينة من السعة وذلك كما يلي:

على التوالي Series:

وتوصيل المكثفات على التوالي(شكل (٢- ١٢)) يعاكس توصيل المقاومات على التوالي من حيث: عند التوصيل التوالي فإننا نحصل على قيمة سعة قليلة بالعكس مع المقاومات وفى هذه الحالة يتجزأ الجهد أيضا.



شكل(٢- ١٢) توصيل المكثفات على التوالي

فى هذه الحالة يتجزأ الجهد وبالتالى:

$V = V1 + V2 + V3$

$C = Q/V$

$V = Q/C$

$Q/C = Q_1/C_1 + Q_2/C_2 + Q_3/C_3$

وبما أن الشحنة أو التيار لا تتجزأ على التوالى إذا الشحنة المخزنة فى كل مكثف متساوية

$$(1/C) = (1/C_1) + (1/C_2) + (1/C_3) \qquad (2\text{-}8)$$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

وفى حالة وجود مكثفين موصلين معا على التوالي يكون القانون:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}=\frac{C_1+C_2}{C_1 C_2}$$

أى

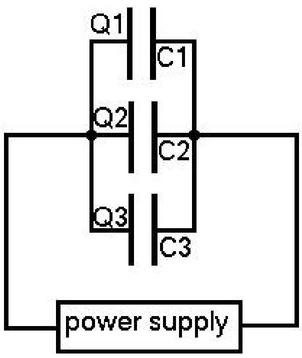
$$C=\frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} \qquad (2\text{-}9)$$

$$\frac{1}{C}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i} \qquad (2\text{-}10)$$

نلاحظ أن السعة الكلية دائما أقل من سعة أى من المكثفات المتصلة على التوالى . وبصفة عامة لعدد n من المكثفات الموصلة على التوالى

على التوازي **Parallel**:

توصيل المكثفات على التوازي (شكل(٢- ١٣)) يعاكس أيضا توصيل المقاومات على التوازي من حيث؛ عند التوصيل التوازي فإننا نحصل على قيمة سعة كبيرة بالعكس مع المقاومات وفى هذه الحالة تتجزأ الشحنة أو التيار.



شكل (٢- ١٣) توصيل المكثفات علي التوازي.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = V \cdot C$$

$$V.C = V.C_1 + V.C_2 + V.C_3$$

وبم أن الجهد لا يتجزأ على التوازي إذا الجهود متساوية على أطراف المكثفات

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (2\text{-}11)$$

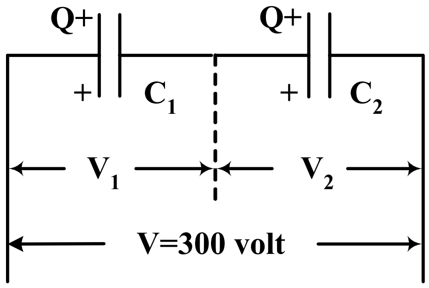
$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (2\text{-}12)$$

<u>مثال (٢- ٥):</u>

مكثفان سعتهما $2\ \mu F$ و $8\ \mu F$ وصلا على التوالى ، فإذا كان فرق الجهد الكلي على المكثفين $300\ V$ ، (أ) احسب السعة المكافئة وكذلك الشحنة وفرق الجهد على كل مكثف (ب) إذا وصل المكثفين على التوازي ، احسب السعة المكافئة وكذلك الشحنة وفرق الجهد على كل مكثف.

<u>الحل:</u>

(أ) عند توصيل المكثفين على التوالى كما موضح فى شكل (٢- ١٤)، وتكون السعة المكافئة



شكل (٢-١٤)

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6 \quad \mu F$$

$$Q = C\,V = 1.6 \times 10^{-6} \times 300 = 4.8 \times 10^{-4} \quad C$$

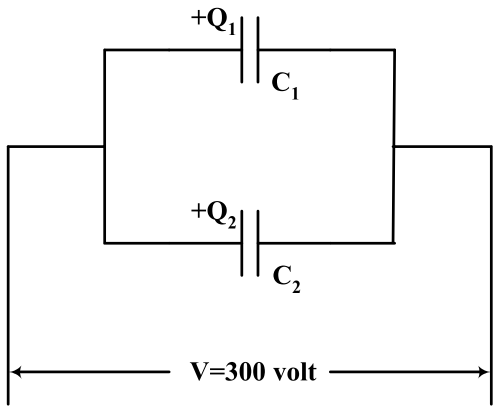
وحيث إن المكثفين موصلان على التوالى فتكون الشحنة متساوية ولكن فرق الجهد مختلف ، وبالتالي

$$Q_1 = Q_2 = Q = 4.8 \times 10^{-4} \quad C$$

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = 240 \quad V$$

$$V_2 = \frac{Q}{C2} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-6}} = 60 \quad V$$

(ب) عند توصيل المكثفين على التوازى كما موضح فى شكل (٢- ١٥) تكون السعة المكافئة:



شكل (٢-١٥)

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 8 = 10 \quad \mu F$$

فى هذه الحالة يكون فرق الجهد متساويا ، بينما تكون الشحنة مختلفة ، أي إن

$$V_1 = V_2 = V = 300 \quad V$$

$$Q_1 = C_1 V = 2 \times 10^{-6} \times 300 = 6 \times 10^{-4} \quad C$$

$$Q_2 = C_2 V = 8 \times 10^{-6} \times 300 = 2.4 \times 10^{-3} \quad C$$

الطاقة المختزنة فى المكثف:

إن شحن المكثف يستلزم إعطاؤه طاقة كهربية من المنبع الكهربى الذى يقوم بشحنه ، وهذه الطاقة تختزن فى المجال الكهربى الذى يتكون فى العازل الكهربى . وعند تفريغ المكثف يضمحل هذا المجال الكهربى فتنطلق الطاقة الكهربية من المكثف .

فإذا فرضنا أنه فى خلال شحن المكثف يكون فرق الجهد على طرفيه V عندما تكون الشحنة على اللوح Q نجد أن زيادة الشحنة بمقدار dQ يستلزم وضع طاقة مقدارها فى المكثف $dW = V\,dQ$، أي إن

$$dW = V\,dQ$$

وعند الشحنة Q يحدد الجهد بالعلاقة :

$$Q = C\,V$$

أي إن

$$dQ = C\,dV$$

وبالتالي

$$dW = C\,V\,dV$$

ولذلك نحصل على الطاقة المختزنة كالآتي :

$$\text{Joules}\ \int_0^V C\,V\,dV = C\left[\frac{V^2}{2}\right]_0^V = \frac{1}{2}\,C\,V^2\ \ W= \qquad (2\text{-}13)$$

وحيث إن

$$Q = C\,V \qquad , \qquad V = Q / C$$

ولذلك نحصل على صور أخرى للطاقة المختزنة كالآتي :

$$\text{Joules}\ \frac{1}{2}\,C\,V^2 = \frac{1}{2}\,Q\,V = \frac{1}{2}\,\frac{Q^2}{C}\quad W = \qquad (2\text{-}14)$$

إذا كانت مساحة اللوح فى المكثف $A\ (m^2)$ والمسافة بين اللوحين d متر ، أي إن سمك العازل الكهربى d متر ومعامل عزله الكهربى ϵ ، نجد أن الطاقة المختزنة فى وحدة الحجم من العازل الكهربى هى :

$$W = \frac{1}{2}\,\frac{C\,V^2}{A\,d} = \frac{1}{2}\,\frac{\varepsilon A\ V^2}{d\ \ A\,d} = \frac{1}{2}\,\varepsilon\,\left(\frac{V}{d}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2} = D\,E\ \ {}^2\ \ \epsilon\ \ E\,\frac{1}{2} = \qquad (2\text{-}15)$$

$$= \frac{1}{2}\,\epsilon\ E^2 = \frac{1}{2}\,D\,E = \frac{1}{2}\,\frac{D^2}{\varepsilon} \qquad \text{Joules} / m^3 \qquad (2\text{-}15)$$

<u>مثال (٢- ٦):</u>

مكثفان سعة الأول $20\ \mu F$ وفرق الجهد بين طرفيه $1000\ V$ والثاني سعته $10\ \mu F$ وفرق الجهد بين طرفيه $100\ V$. ثم وصل المكثفات على التوازي . احسب الطاقة الكلية قبل التوصيل . ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . احسب كذلك فرق الجهد الكلي بين طرفي المكثفات بعد التوصيل .

الحل:

يمكن حساب الشحنة لكل مكثف كما يلي :

$$Q_1 = C_1 V_1 = 20 \times 10^{-6} \times 1000 = 0.02 \quad C$$

$$Q_2 = C_2 V_2 = 10 \times 10^{-6} \times 100 = 0.001 \quad C$$

أما السعة الكلية فهي

$$C = C_1 + C_2 = (20 + 10) \times 10^{-6} = 30 \times 10^{-6} \quad F$$

وتكون الطاقة الكلية قبل التوصيل على التوازي :

$$W_1 = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (1000)^2 + \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 10.05 \quad \text{Joules}$$

أما الطاقة الكلية بعد التوصيل فهي :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

حيث إن Q هى الشحنة الكلية وهى :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0.02 + 0.001 = 0.021 \quad C$$

وبالتالي فإن الطاقة الكلية بعد التوصيل تكون :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(0.021)^2}{30 \times 10^{-6}} = 7.35 \quad \text{Joules}$$

وبالتالي فإن الفقد فى الطاقة الكلية هو :

$$W = W_1 - W_2 = 10.05 - 7.35 = 2.7 \quad \text{Joules}$$

أما فرق الجهد الكلي فهو:

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{0.021}{30 \times 10^{-6}} = 700 \quad V$$

تمارين على الوحدة الأولى:

١. وضعت شحنتان قيمة كل منهما Q فى ركنين متقابلين من مربع ، ما قيمة الشحنة q التى يجب أن توضع فى كل من ركني المربع الآخرين وذلك لكى تنعدم القوة المؤثرة على كل من الشحنتين Q و Q .

٢. وضعت ثلاث شحنات نقطية فى مستوى على النحو التالى :
شحنة مقدارها 6×10^{-8} C عند النقطة (0 , 0) meters ، وشحنة مقدارها 3×10^{-8} C عند النقطة (4, 0) meters وشحنة مقدارها -7×10^{-8} C عند النقطة (0, 5) meters . عين شدة المجال الكهربائى عند النقطة (4,5) meters .

٣.احسب الجهد الكهربائى عند مركز مربع طول ضلعه مترا واحدا ووزعت عند أركانه الشحنات التالية على الترتيب $Q_1 = 1\times10^{-8}$ C و $Q_2 = -2\, q_1$ و $Q_3 = 3\times10^{-8}$ C و $Q_4 = 2q_1$.

٤. مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين، وسمكه 0.35 cm وإذا أدخلت طبقة عازلة بين اللوحين لها سماحية نسبية مقدارها 4 وسمكها 0.30 cm ، وبقية المسافة بين اللوحين هواء. وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 3000 V ، احسب شدة المجال الكهربائى و فرق الجهد فى كل من الطبقة العازلة والهواء .

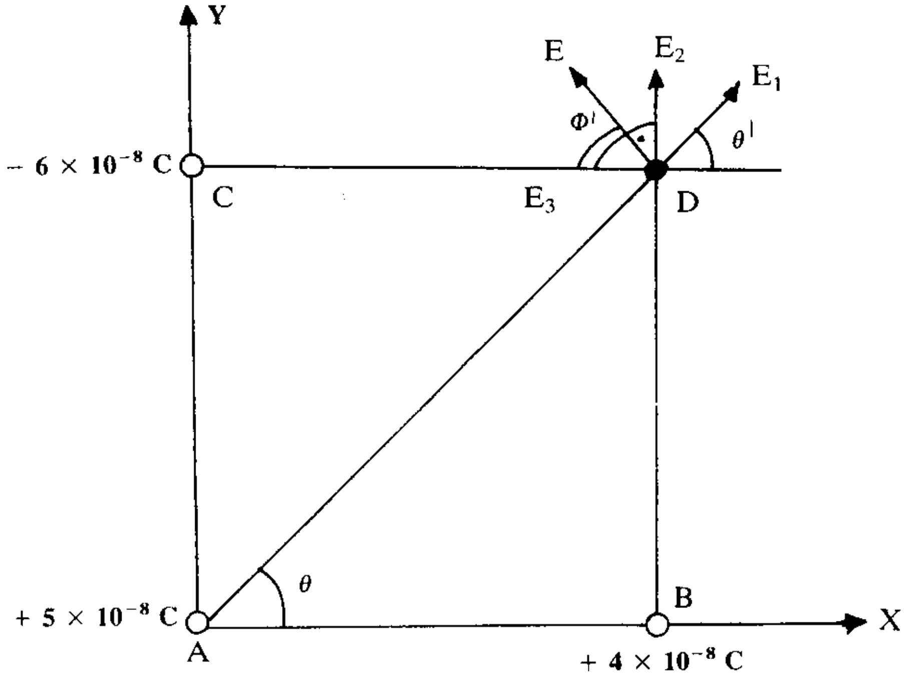
٥. شحن مكثف متوازى اللوحين ، وكانت مساحة كل لوح $100\ cm^2$ بحيث أصبحت الشحنة على اللوح الموجب 8.9×10^{-7} C وشحنة مماثلة على اللوح الآخر . فإذا كانت شدة المجال الكهربائى داخل العازل الكهربى بين اللوحين هى 1.4×10^{6} V / m ، احسب ثابت العزل الكهربى .

٦. مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $2\ m^2$ ، ويفصل بينهما ثلاث طبقات من عوازل مختلفة ذات سماحية نسبية (3, 4 , 6) وسمك (0.5 , 0.7 , 1.1 mm) على الترتيب . فإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 1100 V احسب : (أ) السعة الكلية للمكثف ، (ب) شدة المجال الكهربى فى كل طبقة .

٧. مكثفان سعة الأول 25 μF وفرق الجهد بين طرفيه 1100 V والثاني سعته 15 μF وفرق الجهد بين طرفيه 150 V . تم وصل المكثفات على التوازي. احسب الطاقة الكلية قبل التوصيل ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . احسب كذلك فرق الجهد الكلي بين طرفي المكثفات بعد التوصيل.

٨. وضعت ثلاث شحنات نقطية فى مستوى على النحو التالى شكل (٢- ١٦) : شحنة مقدارها 5×10^{-8} C عند النقطة (0 , 0) meters ، وشحنة مقدارها 4×10^{-8} C عند النقطة (3, 0) meters

وشحنة مقدارها -6×10^{-8} C عند النقطة (0, 4) meters . عين شدة المجال الكهربى عند النقطة (3, 4) meters .



شكل (٢- ١٦)

دوائر كهربائية – ١

البطاريات

الجدارة: معرفة العناصر الأساسية لتكوين البطارية مع الفهم للنوعين الأساسيين للخلايا الابتدائية و الثانوية ، و كذلك معرفة و فهم الطرق المختلفة لتجميع البطاريات .

الأهداف:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لدى المتدرب القدرة على معرفة وفهم :

(١) أنواع رئيسة من البطاريات الأولية الجافة.

(٢) أنواع البطاريات الثانوية الأكثر شيوعا مثل البطاريات الحامضية و البطاريات القلوية.

(٣) النقاط التي يجب مراعتها للمحافظة على البطارية و بقائها في حالة جيدة.

(٤) سعة البطارية و تيار الشحن،و كيفية تجميع الخلايا فى البطاريات

(٥) القدرة القصوى التي تعطيها بطارية للحمل

(٦) جودة البطاريات (كفاءة الأمبير / ساعة و كفاءة الواط / ساعة)

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات.

البطاريات

مقدمة :

البطارية في أبسط صورها علبة مملوءة بالمواد الكيميائية التي تنتج إلكترونات وتسمى التفاعلات التي تنتج عنها تلك الإلكترونات تفاعلات كيميائية كهربائية. ولابد أن تحتوي كل بطارية على قطبين أحدهما موجب والآخر سالب حيث تتجمع الإلكترونات على قطب البطارية السالب وتنتقل منه إلى القطب الموجب في حالة التوصيل بينهما خارجيا بموصل "سلك" كهربائي ولكن من الخطورة الشديدة الاقتصار على ذلك الموصل دون إضافة أحمال كهربائية عليه لأن من شأن ذلك إحداث انفجار أو حريق أو على أقل تقدير تفريغ البطارية من شحنتها بشكل شبه فوري.

ويشير مصطلح بطارية في الواقع إلى مجموعة من الخلايا (الأعمدة) المتّصلة ببعضها ، إلاّ أنّ المصطلح غالبًا ما يستخدم للدلالة على خلية واحدة كتلك المستعملة في الكشّافات الضوئية اليدوية ولعب الأطفال الكهربائية.

تُستَخدَم البطاريات بمثابة مصادر مريحة للطاقة الكهربائية. فهي تمد الأجهزة خفيفة الحمل مثل المذياع، والمسجلات الصوتية والتلفاز، بالطاقة الكهربائية. وتمدّ البطارية السيارة بالطاقة الكهربائية اللازمة لإدارة المحرّك، كما تمدّ البطاريات أيضًا سفن الفضاء والغوّاصات بالكهرباء. وخلال فترات انقطاع التيار، تمدّ البطاريات أجهزة الهاتف، وأجهزة إنذار الحرائق والمستشفيات وغيرها من المباني الأساسية بالكهرباء في حالات الطوارئ.

أنواع البطاريات :

تنتج المصانع أنواعًا عديدة ومختلفة من البطاريات التي يمكن أن تُصنف حسب تصميماتها الأساسية. ويحدِّد تصميم البطارية كمية الكهرباء المولِّدة. وتتوقف بعض البطاريات التي تُسمى البطاريات الأولية عن العمل، وينتهي مفعولها، ويجب التخلص منها بعد استهلاك إحدى المواد الكيميائية المكونة لها. ويمكن إعادة استعمال أنواع أخرى من البطاريات بعد نفاد طاقتها وذلك بإعادة شحنها. ويسمى مثل هذا النوع البطاريات الثانوية، أو بطاريات التخزين.
يمكن أيضًا تصنيف البطاريات حسب محتوياتها الإلكتروليتية وهي المادة الموصلة للتيار الكهربائي داخل الخلية. وتحتوي العديد من أنواع البطاريات الأولية على الإكتروليت على هيئة مواد جيلاتينية، أو

على هيئة مواد تشبه المعجون. وتُعرَف مثل هذه البطاريات التي تحتوي على مكوّنات غير قابلة للانسياب بالخلايا الجافة. وتسمى أنواع قليلة من البطاريات الأولية بالخلايا السائلة لاحتوائها على مواد كيميائية سائلة. وتحتوي أغلب أنواع البطاريات الثانوية على إلكتروليت سائل.
وتختلف البطاريات أيضًا في الجهد المتولد. فالخلية الأولية كتلك المستعملة في كاشفات الضوء اليدوية جهدها ١,٥ فولت. أما أغلب البطاريات الثانوية، والمستعملة في السيارات، فهي بطاريات جهدها ١٢ فولت، وهي تتكوّن من ست خلايا كل منها ينتج ٢ فولت ومتصلة ببعضها على التوالي.

إذن كملخص لما سبق،فالبطارية عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية موصلة على التوالى أو على التوازي أوعلى التوالي و التوازي معا لتعطي جهدا معينا وتيارا معينا. وتنقسم الخلايا الكهربائية إلى نوعين هما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية .

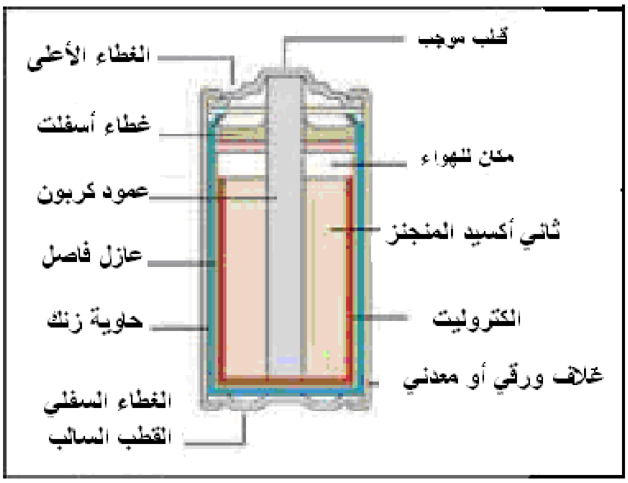
البطاريات الجافة الأولية :

البطاريات الجافة الأولية (شكل٣- ١) هي أكثر أنواع الخلايا الجافة الأولية شيوعًا. وتختلف هذه الأنواع من البطاريات في العديد من النواحي، ولكنّها تشترك جميعًا في مكوِّنات أساسية معيّنة. ويوجد في كلّ بطارية جافة أولية مكونان يسميان القطبين، ويتكون كل قطب من نوع مختلف من المواد الكيميائية الفعالة.

وتنتج الطاقة الكهربية هنا نتيجة لتفاعلات كيميائية تتغير معها المواد المستعملة مما يستدعى تغييرها لإعادة استخدام الخلية. وتتكون الخلية هنا من قطبين مغمورين فى محلول إلكتروايتي ومثال ذلك خلية لاكلانشيه (Laclanche Cell) والتى تسمى أيضا الخلية المنجنية (Manganic Cell) حيث تستخدم ثاني أوكسيد المنجنيز شكل (٣- ١) .
فالقطب الموجب مصنوع من ثانى أوكسيد المنجنيز (MnO_2)،
والقطب السالب مصنوع من الزنك (Zn) ،

والمحلول الإلكتروايتى عبارة عن محلول ملح من أملاح النوشادر مثل محلول كلوريد النوشادر بنسبة٢٠٪ (NH_4Cl). وتعطي الخلية جهدا قدره ١,٥ فولت و مقاومتها الداخلية بين ٠,٢ و ٠,٥ أوم. ومصدر الطاقة هنا هو في تحويل الزنك إلى أكسيد الزنك، و تتوقف قيمة الطاقة التي تعطيها الخلية بالأمبير ساعة على وزن المواد المستخدمة (الأقطاب).

والبطارية الجافة عبارة عن حالة من هذا النوع من الخلايا حيث يستبدل السائل الإلكتروايتى بعجينة من محلول كلوريد النوشادر المخلوط بنشارة الخشب والدقيق والخميرة....إلخ.



شكل (٣- ١) بطارية جافة .

يتسبب الإلكتروليت الموجود بين الأقطاب في شحن أحدها وهو القطب السالب (المهبط) بشحنة سالبة، والآخر ويسمى القطب الموجب (المصعد أو الكاثود) بشحنة موجبة. ويساعد الإلكتروليت في استمرار تعزيز التفاعلات الكيميائية التي تحدث عند القطبين.

وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من البطاريات الأولية الجافة، هي:

١ـ خلايا الكربون ـ الخارصين.

٢ـ الخلايا القاعدية.

٣ـ خلايا الزئبق.

خلايا الكربون ـ الخارصين: متعددة الاستعمالات، حيث تستعمل في كشّافات الضوء اليدوية، ووحدات توليد الومضات الكهربائية لأجهزة وآلات التصوير، وفي لعب الأطفال. وتسمى هذه الخلايا أيضًا عمود لكلانشيه الجاف، وهي مُصممة داخل عبوة من الخارصين. وتستخدم العلبة كإناء لمحتويات الخلية، وفي الوقت نفسه تقوم بعمل القطب السالب. يعمل عمود الكربون الموجود في مركز الخلية، كمجمع تيار للقطب الموجب .إلا أن المادة الفعلية المكوّنة للقطب الموجب هي خليط من ثاني أكسيد المنجنيز ومسحوق الكربون، وهذا الخليط مضغوط حول العمود. ويوجد الإلكتروليت في هذه الخلايا في صورة معجون يتكوّن من كلوريد الأمونيوم وكلوريد الخارصين والماء.

يفصل القطبان السالب والموجب بشريحة من مادة مساميّة مثل الورق أو الكربون التي سبق غمسها في الإلكتروليت. وتُسمى هذه الطبقة الرّقيقة العازل، وهي تمنع المواد المكونة للأقطاب من الاختلاط معًا أو التفاعل في حالة عدم استعمال البطارية .مثل هذا الاختلاط من شأنه أن يؤدي إلى تآكل القطب السّالب الخارصيني قبل الأوان، والتقليل من العمر الافتراضي للبطارية.

الخلايا القاعدية: تشبه خلايا الكربون ـ الخارصين، ففي كليهما نجد نفس المواد المكوّنة للقطب السالب والقطب الموجب. وتقوم هذه المواد بتفاعلات كيميائية متشابهة؛ إلا أن هذين النوعين من الخلايا الأولية الجافة يختلفان في عديد من النواحي.

تحتوي الخلية القاعدية على قطب سالب من الخارصين يغلب عليه التكوين المسامي الذي يتأكسد بدرجة أسرع من ذلك الموجود في خلية الكربون ـ الخارصين. والإلكتروليت في الخلية القاعدية عبارة عن محلول قلوي قوي يحتوي على مركب هيدروكسيد البوتاسيوم .ويوصل هذا المركب الكهرباء داخل الخلية بدرجة أكثر فاعلية من محلول كلوريدالأمونيوم، وكلوريد الخارصين في خلية الكربون ـ الخارصين. وتمكن هذه المواصفات الخلية القاعدية من توليد تيّار عالٍ يستمر بكفاءة أعلى من خليّة الكربون ـ الخارصين.

تستخدم الخلايا القاعدية مصدرًا ممتازًا للإضاءة في مصابيح الدراجات، وآلات الحلاقة، وأجهزة التلفاز خفيفة الحمل، وأجهزة التخاطب الإلكترونية. هذه الخلايا أكفأ اقتصاديًا في حالة استعمالها في لعب الأطفال الكهربائية التي تتطلب كمية عالية من الكهرباء، عن خلايا الكربون ـ الخارصين، وذلك لأن عمرها الافتراضي أطول بما يتراوح بين ٥ و ٨ مرات.

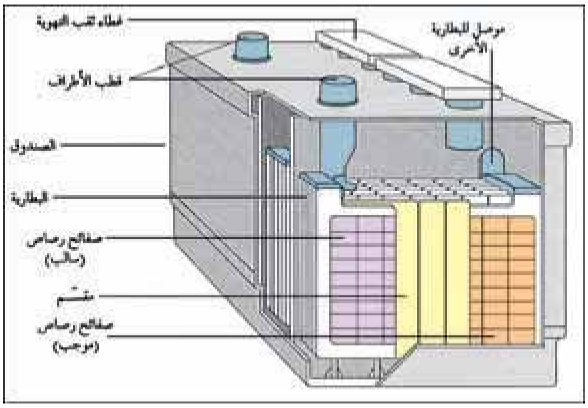
خلايا الزئبق :ذات قطب سالب من الخارصين، وقطب موجب من أكسيد الزئبقيك، تحتوي على إلكتروليت هيدروكسيد البوتاسيوم. ويتحول الخارصين إلى أكسيد الخارصين ، ويتحوّل أكسيد الزئبقيك إلى زئبق خلال عملية الاستهلاك، كما يتبقّى مركّب هيدروكسيد البوتاسيوم دون تغير.

البطاريات الثانوية:

صممت البطارية الثانوية بطريقة يمكن بها عكس التفاعلات الكيميائية إلى الاتجاه المضاد. وتُمكِّن هذه الميزة من إعادة شحن البطارية بكفاءة بعد نفاد الطاقة الكهربائية التي يمكن توليدها. وأكثر أنواع البطاريات الثانوية شيوعًا هي:

١- بطاريات التخزين رصاص ـ حمض (البطاريات الحامضية) شكل (٣- ٢).

٢- بطاريات التخزين نيكل ـ كادميوم (البطاريات القلوية).



شكل (٣- ٢) أجزاء بطارية تخزين الحمض والرصاص.

(أ) الخلايا الحامضية:

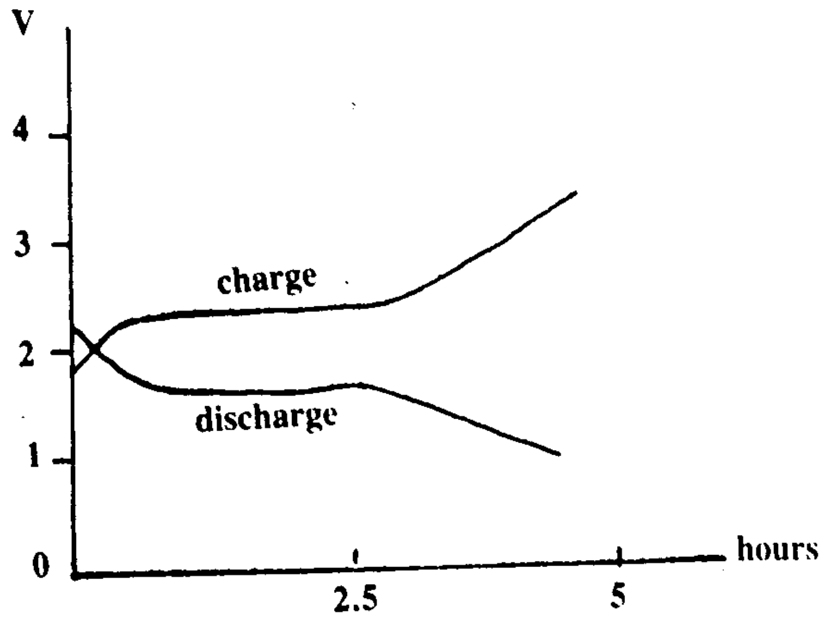
تحتوي غالبية بطاريات التخزين رصاص ـ حامض على ست خلايا شكل (٣- ٢) و تحتوي كل خلية على مجموعتين من أقطاب الرصاص تسمى الصفائح. وتفصل الصفائح عن بعضها برقائق من البلاستيك أو المطاط. ويحيط محلول من حامض الكبريتيك والمسمى الإلكتروليت، بهذه الصفائح. يتصل كل قطب، والمنتهي على سطح البطارية بمجموعة من هذه الصفائح. فتحات التهوية بجدار البطارية تسمح بإضافة الماء إلى الإلكتروليت، كما تسمح بتسريب الغازات الناتجة إلى الخارج.

ويصنع قطبي البطارية من الرصاص (Pb) للقطب السالب وأكسيد الرصاص (PbO_2) للقطب الموجب ، والسائل الإلكتروايتى هو حامض الكبريتيك (H_2SO_4).

عند التفريغ يتحول الرصاص إلى كبريتلت الرصاص و يقل تركيز حامض الكبريتيك، بينما أثناء الشحن تتحول كبريتات الرصاص إلى أكسيد الرصاص و الرصاص نفسه مع إرتفاع في تركيز حامض الكبريتيك، و هكذا تعود الخلية إلى حالتها الأولى.

و يتأثر عمر الخلية بكمية كبريتات الرصاص المتراكمة على ألواح الرصاص و الإرتفاع الزائد لتركيز الحامض مما يدعو إلى الاهتمام بقياس درجة تركيز الحامض باستمرار بواسطة هيدرومتر (جهاز قياس الكثافة) و تكون الكثافة في حالة الشحن 1.21 و يجب ألا تقل عن 1.18 عند التفريغ و يبلغ جهد الخلية المشحونة 2.2 فولت و يصل مع التفريغ إلى 1.8 فولت حيث يجب أن تشحن الخلية عندئذ، و إلا فإن التفاعل يصير غير تبادلي، هذا و يرتفع الجهد عند الشحن حتى 2.6 فولت شكل (٣- ٣)

و يلاحظ أنه عند تمام شحن الخلية تخرج غازات الهيدروجين من ناحية القطب السالب و الأوكسجين من ناحية القطب الوجب. و يجب وقف الشحن عندئذ.



شكل (٣- ٣) خواص البطاريات الحامضية.

كبرتة الأقطاب بالبطاريات الحامضية (Sulfation):

عند ترك البطارية مفرغة لمدة طويلة فإنها لا تشحن بانتظام و إن كبريتات الرصاص (Pb SO4) المكونة على الألواح أثناء التفريغ لا تختزل بالكامل إلى أكسيد الرصاص أو الرصاص و ينتج عن ذلك ارتفاع في المقاومة الداخلية للخلية و نقص في جودتها. و تنتج نفس الظاهرة أحيانا من الشحن الزائد أيضا. و يمكن إزالة هذه الكبرتة بالشحن المتوالي للبطارية عدة مرات بدون تفريغ حتى تزول الكبرتة.

وللمحافظة على البطارية فى حالة جيدة يجب مراعاة الآتي :

١. عدم ترك البطارية بدون شحن خاصة عندما يبلغ جهدها أقل قيمة للجهد.
٢. عدم ترك البطارية فارغة لمدة طويلة .
٣. يجب بقاء مستوى السائل الإلكترويتي مغطيا الألواح تماما وعدم تعريض الألواح للهواء مع إضافة الماء المقطر (فقط) عند اللزوم عند نقص السائل .

(ب) الخلايا القلوية :

ويوجد نوعان شائعا الاستعمال من هذه الخلايا وهى خلية النيكل- كادميوم وخلايا النيكل- حديد

١. خلايا النيكل- كادميوم (**Nickel – Cadmium**):

القطب الموجب هنا مصنوع من إيدروكسيد النيكل ، بينما القطب السالب من الكادميوم الإسفنجي . والسائل الإلكتروايتي عبارة عن محلول البوتاس بنسبة 20% . وتصنع الأقطاب من ألواح من الحديد المطلية بالنيكل وبها ثقوب تحمل المادة الفعالة ، والإناء الحاوي يصنع أيضا من الحديد المطلي بالنيكل . و يلاحظ أن تركيز إيدروكسيد البوتاسيوم لا يتغير أثناء التفاعل و لذا فإنه يمكن استعمال كمية قليلة من السائل الإلكتروليتي مما يجعل البطارية أقل حجما.

فمثلا البطارية الحامضية 100 أمبير ساعة تحوي 6.8 لتراً من السائل بينما البطارية القلوية 100 أمبير ساعة تحوي 1.2 لتراً من السائل.

٢. خلايا النيكل- حديد :

ويتكون القطب الموجب من إيدروكسيد النيكل بينما القطب السالب من الكادميوم الإسفنجي ، والسائل الإلكتروليتي هو محلول البوتاس . ويلاحظ هنا أيضا عدم تغير تركيز السائل الإلكتروليتي مما يجعل وزن وحجم البطارية صغيرا .

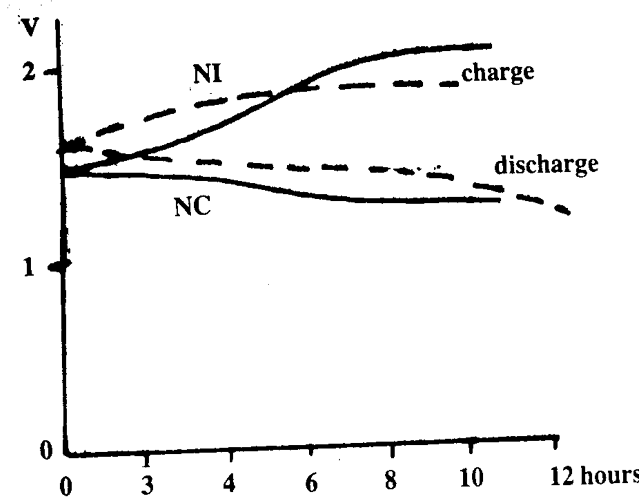
ومن مزايا البطاريات القلوية ثبات المواد الفعالة على الألواح مما يجعلها أكثر تحملا للصدمات وهي كذلك أخف وزنا وأقل حجما لنفس السعة .

و تقدر جودة البطاريات القلوية بالآتي:

جودة الأمبير ساعة 66.6%جودة الوات ساعة 50% للكادميوم ، 48% للحديد.

بطاريات التخزين نيكل - كادميوم .تعمل بنفس الأسس العامة كبطاريات الرصاص - الحمض، ولكن تستعمل فيها مواد كيميائية مختلفة. ويصنع القطب السالب في بطارية النيكل - الكادميوم، من الكادميوم، كما أن القطب الموجب يتكوّن من أكسيد النيكل، ويستعمل محلول هيدروكسيد البوتاسيوم كإلكتروليت

يُصَمَّم التكوين الكيميائي لبطارية النيكل - كادميوم بحيث يكون الإناء المحتوي على مكونات البطارية محكمًا ضد الهواء، مما يمنع الإلكتروليت ذا الطبيعة التآكلية - من التسرب إلى الخارج. ولهذه الميزة تستعمل بطاريات النيكل - كادميوم في آلات الحفر، وآلات الحدائق، وغيرها من الأجهزة خفيفة الحمل. وتستعمل هذه البطاريات في أغلب أنواع الأقمار الصناعية.



شكل (٣-٤) خواص البطاريات القلوية.

سعة البطارية و تيار الشحن :

سعة البطارية = التيار المسحوب بالأمبيرx زمن السحب في الساعة AH ،فإذا كانت سعة البطارية 300 أمبير ساعة، معنى ذلك أنه إذا كان: تيار السحب = نصف أمبير، فإن زمن السحب 600 ساعة. و من ذلك نستنتج أنه كلما زاد التيار المسحوب يقل زمن الاستعمال، و العكس صحيح.

مثال (٣- ١):

4 أعمدة ، القوة الدافعة للعمود الواحد 1.5 فولت و المقاومة الداخلية 2 أوم للعمود الواحد ، تغدي مقاومة خارجية قدرها 2 أوم.

احسب التيار المسحوب إذا كانت الخلايا موصلة

أ- على التوالي

ب- على التوازي

ج- على هيئة صفين متوازيين، بكل صف خليتان متوازيتان.

الحل:

أ- القوة الدافعة الكهربائية:

$E = 1.5 \times 4 = 6\ V$

المقاومة الداخلية للبطارية:

$r_{int.} = 2 \times 4 = 8\ \Omega$

التيار المسحوب إذا كانت الخلايا موصلة على التوالي:

$I = E / (r_{int.} + r_{ext.}) = 6/ (8+2) = 0.6\ A$

ب- القوة الدافعة الكهربائية للعمود الواحد:

$E = 1.5\ V$

المقاومة الداخلية للبطارية:

$r_{int.} = 2/4 = 0.5\ \Omega$

التيار المسحوب إذا كانت الخلايا موصلة على التوزي:

$I = E / (r_{int.} + r_{ext.}) = 1.5/ (0.5 +2) = 0.6\ A$

ج- القوة الدافعة الكهربائية للصف الواحد:

$E = 1.5 \times 2 = 3V$

المقاومة الداخلية للبطارية:

$1 / [\{1/(2+2)\} + \{1/(2+2)\}] = 4 / 2 = 2\ \Omega$

التيار المسحوب إذا كانت الخلايا موصلة على هيئة صفين متوازيين، بكل صف خليتان متوازيتان:

$I = E / (r_{int.} + r_{ext.}) = 3/ 2 = 1.5\ A$

تجميع الخلايا فى بطاريات :

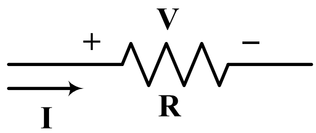
إن التيار الكهربائى هو نتيجة تحرك شحنات كهربائية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة المقاومة ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R .
وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفي المقاومة على شدة التيار المار فيه . أي إن

$$R = V / I$$

وبالتالي يمكن كتابة قانون أوم كالآتي:

$$I = V / R$$

حيث R هى المقاومة (Resistance)،وV هو فرق الجهد المسلط ، وI هوالتيار المار . ووحدة R هى Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتيني (Omega Ω). وتعرف العلاقة السابقة بقانون أوم (Ohm's law) .وشكل (٣- ٥) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R .



شكل (٣- ٥)

وعموما سوف يتم شرح قانون أوم بالتفصيل في الوحدة الثالثة.
تجمع الخلايا فى مجموعات موصلة على التوالى والتوازى لتكوين بطارية أو مراكم ، ونلاحظ فى هذه الحالة ما يأتى :

(أ) تجميع التوالي :

إذا فرضنا أن عدد الخلايا الموصلة مع بعضها على التوالى n ، وجهد كل خلية E ، ومقاومتها الداخلية r ، فيكون :

الجهد الكلي للبطارية = n E فولت

المقاومة الداخلية الكلية = n r أوم

المقاومة الكلية بالدائرة = $R + n\,r$ أوم

ويكون التيار المار فى الدائرة (طبقا لقانون أوم) هو:

$$I = \frac{nE}{R + nr}$$

فإذا كانت $R << n\,r$ فيكون :

$$I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$$

أي إن التيار I فى هذه الحالة هو تيار الخلية الواحدة ، وهو لايزيد بتوصيل الخلايا على التوالى . أما إذا كانت $n\,r << R$ فإن التيار يصبح :

$$I = \frac{nE}{R} = n\ \frac{E}{R}$$

أي إن التيار يزيد هنا بعدد n مرة من التيار الناتج عن خلية واحدة . ولذلك فإن البطارية تعطي أقصى تيار للحمل إذا كانت مقاومة الخلايا صغيرة جدا بالنسبة لمقاومة الحمل R . وعلى هذا الأساس فإن تجميع التوالي يستعمل فى حالة كون مقاومة الحمل كبيرة بالنسبة للمقاومة الداخلية للبطارية .

(ب) تجميع التوازي :

وتوصل جميع الأقطاب الموجبة مع بعضها والأقطاب السالبة مع بعضها ، وبذلك يكون جهد البطارية E مساويا لجهد الخلية الواحدة. والمقاومة الداخلية لمجموعة خلايا قدره خلية ، ومقاومة كل منها $(1/n)\ r$ أوم ، وتكون

المقاومة الكلية بالدائرة :

$$R + (r/n)$$

وتيار الحمل يصبح :

$$I = \frac{E}{R + (r/n)}$$

فإذا كانت $r/n << R$ فإن

$$I = E/R$$

أي يصبح التيار مساويا للتيار الناتج عن خلية واحدة . أى لا فائدة تعود من هذه التوصيلة بهذا الوضع .

أما إذا كانت $R << r/n$ فإن $I = n\,(E/r)$ وهو يساوى (n) مرة التيار الذى يمكن أن نحصل عليه من خلية واحدة . ولذا نستعمل مجموعات التوازي إذا كانت مقاومة الحمل صغيرة جدا بالنسبة لمقاومة البطارية .

(ج) التجميع المركب:

إذا كان عدد الخلايا الموصلة على التوالى فى كل خط n خلية ، وكان عدد الخطوط الموصلة على التوازى m خط ،فتكون
المقاومة الداخلية لخلايا الخط الواحد = n r أوم ،
وتكون :
المقاومة الكلية لعدد m خط = n r /m أوم .
المقاومة الكلية بالدائرة = R + (nr /m) .
جهد البطارية = جهد الخط الواحد = E n فولت .

تيار البطارية :

$$I = \frac{nE}{R+(nr/m)} = \frac{m\,nE}{mR+nr} = \frac{NE}{mR+nr}$$

حيث العدد الكلي للخلايا N هو:

$$N = m\,.\,n$$

والقيمة القصوى للتيار تكون عندما يصير المقام (m R + n r) أقل ما يمكن ، وبفرض أن :

$$y = mR + nr = (\sqrt{mR})^2 + (\sqrt{nr})^2 = (\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2 + 2\sqrt{mR}\,\sqrt{nr}$$

ويكون هذا المقدار أقل ما يمكن عندما يكون المقدار الذى بين القوسين أقل ما يمكن ، أي إن :

$$mR = nr$$

أي إن المقاومة الخارجية = المقاومة الداخلية للبطارية .

و تكون الجودة (الكفاءة) فى هذه الحالة ٥٠ ٪ ، ويعنى هذا أن نصف القدرة المعطاة من البطارية يستنفذ فى الحمل الخارجي والنصف الآخر يستنفذ فى المقاومة الداخلية للبطارية . ويلاحظ أنه يمكن حساب التكوين الذى يعطي أعلى تيار من المعادلتين :

$$mn = N \quad , \quad mR = nr$$

جودة المجموعة المركبة η يمكن حسابها كالآتي :

$$\eta = \frac{output}{input} = \frac{useful\ power}{total\ power\ produced} = \frac{I^2 R}{I^2 R + I^2 r'} = \frac{R}{R + r'}$$

حيث r هى المقاومة الداخلية الكلية للبطارية و R هى مقاومة الحمل .

القدرة القصوى التي تعطيها بطارية للحمل:

نفرض أن جهد البطارية = E فولت

مقاومتها الداخلية = r_i أوم

مقاومة الحمل = R أوم

الجهد الخارجي = V فولت

$$V = E - I.r_i = I.R$$

$$E = I(R + r_i)$$
$$P = V.I = EI - I^2 r_i$$
$$(dp/dI) = E - 2Ir_i$$

القدرة القصوى يعني: (dp/dI) = صفر

$$E = 2I r_i$$

$$I(R + r_i) = E = 2I r_i$$

أي

$$R = r_i$$

أي إن البطارية تعطي أكبر قدرة للحمل عندما تكون مقاومة الحمل مساوية للمقاومة الداخلية للبطارية.

و في حالة المجموعة المختلطة تكون القدرة القصوى التي تعطيها المجموعة للحمل عندما يكون

$$m.R = n.r_i$$

و في حالات مجموعة البطاريات على التوالي فإن I_{max} أقصى تيار تعطيه المجموعة عندما يكون

$$r.i \ll R$$

و في حالة مجموعة البطاريات على التوازي فإن I_{max} أقصى تيار تعطيه المجموعة عندما يكون

$$R \ll r.i$$

<u>مثال (٣- ١):</u>

مجموعة بطاريات تتكون من 15 خلية كل منها $1.4\ V$ ولها مقاومة داخلية $0.8\ \Omega$ ومحملة بمقاومة قدرها $30\ \Omega$. أوجد: (أ) تيار التغذية ، (ب) الجهد على طرفي البطارية.

<u>الحل:</u>

جهد البطارية:

$E = 15 \times 1.4 = 21\ V$

المقاومة الداخلية الكلية للمجموعة:

$= 0.8 \times 15 = 12\ \Omega$

المقاومة الكلية للدائرة :

$= 12 + 30 = 42\ \Omega$

(أ) تيار التغذية:

$I = 21 / 42 = 0.5\ A$

(ب) الجهد على طرفي البطارية :

$V = I.\ R = 0.5 \times 30 = 15\ V$

أو الجهد على طرفي البطارية:

$V = E – I\ r = 21 – 0.5 \times 12 = 15\ V$

<u>مثال (٣- ٢):</u>

يوجد ٢٤ خلية والمطلوب تشكيل هذه الخلايا فى بطارية مجمعة لتعطي أكبر تيار فى مقاومة حمل قدرها $5\ \Omega$ ، فإذا كان جهد اللاحمل لكل خلية $2.1\ V$ ومقاومتها الداخلية $2\ \Omega$ ، أوجد أحسن تشكيل وقيمة التيار فى الحمل .

<u>الحل:</u>

شرط الحصول على أعلى تيار هو :

$m\,n = N \quad , \quad m\,R = n\ r$

حيث r هى مقاومة الخلية الواحدة ، R هى مقاومة الحمل ، n هو عدد الخلايا الموصلة على التوالى فى كل خط ، m هو عدد الخطوط الموصلة على التوازى ، N هو العدد الكلى للخلايا .

$m\,R = n\ r \quad \text{or} \quad 5\,m = 2\,n \quad \text{or} \quad n = (5 / 2)\,m \qquad (4.1)$

وكذلك

$mn = N = 24 \qquad (4.2)$

وبالتعويض من (4-1) في (4-2) نحصل على

$$m\,(5/2)\,m = (5/2)\ m^2 = 24 \qquad \text{or}\ \ m^2 = (24)(2)/5 = 9.6$$

حينئذ يمكن أن نحتار $m = 3$ خلية فى كل خط . وتكون قيمة التيار المار فى $n = 8$ خط ، فيكون الحمل فى هذه الحالة :

$$I = \frac{nE}{R+(nr/m)} = \frac{8\times 2.1}{5+(8\times 2)/3} = 1.63\ \ \text{A}$$

جودة (كفاءة) البطاريات :

يوجد نوعان من الجودة للبطاريات:

أ- كفاءة الأمبير ساعة و تمثل النسبة بين الأمبير ساعات التي تشحن إلى الأمبير ساعات المأخوذة من المنبع.

Ah η = (ampere-hours on discharge)/ (ampere-hours on charge)

جودة الأمبير ساعة Ah η = الأمبير ساعة بالتفريغ / الأمبير ساعة للشحن

و هي أقل من 1 و تساوي للمراكم الحامضي بين 90 و 95% أي تأحد 100 أمبير ساعة لكي تعطي بين 90 و 95 أمبير ساعة فقط.

ب- جودة الواط ساعة و تمثل الجودة مع الأخد في الاعتبار التغير في الجهد أثناء الشحن أو التفريغ، و يتغير جهد المراكم عادة من 2.1 فولت إلى 1.8 فولت عند التفريغ بينهما يرتفع من 1.8 فولت حتى 2.6 فولت أثناء الشحن.

جودة الوات ساعة Wh η = متوسط الجهد أثناء التفريغ / متوسط الجهد أثناء الشحن

Wh η = Ah η x [(average volts on discharge)/ (average volts on charge)]

و هي في العادة حوالي 72% - 80% و يمكن أيضا وضعها في الصورة:

Wh η = Wh on discharge)/ (Wh on charge)]

تمارين على الوحدة الثانية:

١- وضعت بطارية فارغة للشحن على تيار 5 أمبير و لمدة 3.5 ساعة و على جهد شحن متوسط 13.5 فولت. ثم عمل تفريغ للبطارية على مدى 6 ساعات و على جهد ثابت 12 فولت و من خلال مقاومة قدرها أوم، أوجد:

أ- قيمة المقاومة للحصول على كفاءة أمبير ساعة قدرها 85%

ب- قيمة كفاءة الوات ساعة للبطارية.

٢- بطارية طوارئ تتكون من 175 وحدة قلوية موصلة على التوالي و كانت طاقة كل وحدة 1000 أمبير ساعة. فإذا كانت كفاءة الأمبير ساعة 80% ، احسب القدرة المتوسطة التي تعطيها البطارية على مدى 8 ساعات تفريغ اذا كان الجهد المتوسط لكل وحدة أثناء التفريغ 1.2 فولت.

٣- بطارية تتكون من 25 خلية حامضية لكل منها طاقة تفريغ قدرها 200 أمبير ساعة على مدى 10 ساعات. و المطلوب شحنها تماما بتيار شحن ثابت و على مدى 12 ساعة. فإذا كانت كفاءة الأمبير ساعة للبطارية 80% وكان جهد المنبع 110 فولت تيار مستمر و كان جهد الخلية عند بدئ الشحن 1.8 فولت و في نهايته 2.6 فولت.أوجد القيمة القصوى و أقل قيمة للمقاومة الخارجية المستعملة.

٤- بطارية تعطي تياراً قدره 0.6 أمبير عندما تكون المقاومة الخارجية 2 أوم و تعطي تياراً قدره 0.2 أمبير عندما تكون المقاومة الخارجية 12 أوم أوجد:

أ- المقاومة الداخلية.

ب- جهد البطارية في حالة اللاحمل.

دوائر كهربائية – ١

مبادئ و دوائر التيار المستمر

الجدارة: معرفة القواعد الأساس للدوائر الكهربائية ذات التيار المستمر و كيفية التعامل مع العناصر الكهربائية و الكميات الكهربائية و وحداتها و القوانين التي تحكم الدائرة الكهربائية.

الأهداف:

عندما تستكمل هذه الوحدة يكون لدى المتدرب القدرة على معرفة وفهم :

(١)التعريفات الأساسية لعناصر الدائرة الكهربائية للتيار المستمر ووحداتها مثل شدة التيار ، وفرق الجهد ، والمقاومة وكذلك العلاقات المختلفة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية.

(٢)كيفية حل الدوائر الكهربية الموصلة على التوالى وتطبيق قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد.

(٣)كيفية حل الدوائر الكهربية الموصلة على التوازى وتطبيق قانون كيرشوف للتيار وكذلك قاعدة توزيع التيار.

(٤)طرق حساب الكميات الكهربية المختلفة للدوائر الموصلة على التوالى والتوازى معا.

(٥) كيفية حل الدوائر الكهربية الموصلة على شكل نجمي أو على شكل دلتا و إجراء تحويل في الربط من نوع الى مكافئه من النوع الآخر

(٦) كيفية التصنيف و التمييز بين طائفة من الخواص الكهربائية الأساس للمواد (الموصلة و العازلة و شبه الموصلة).

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

الفصل الرابع

مبادئ التيار المستمر

تقوم المنظومات الكهربائية بوظيفتين ، فإما أن تكون وسيطا فى استغلال الطاقة المتوفرة فى الطبيعة بأنواعها المختلفة ، وذلك بتحويلها الى طاقة كهربائية يسهل نقلها وتوزيعها إلى حيث الحاجة ، فيعاد تحويلها الى الشكل الذى يستفاد منه كطاقة حرارية أو ميكانيكة أو غير ذلك . وإما أن تقوم المنظومة الكهربائية بدور الوسيط لنقل المعلومات ، وعندئذ تكون الطاقة الكهربائية واسطة نقل معلومات ، ويلزم لذلك الحد الأدنى من الطاقة التى تكفى لتحويل المعلومات إلى إشارات كهربائية والتى يمكن أن تنقل إلى أماكن بعيدة ، ومن ثم يعاد تحويلها إلى الصيغ التى يستفاد منها كأن تكون إشارات صوتية أو إشارات توجيه أو سيطرة .

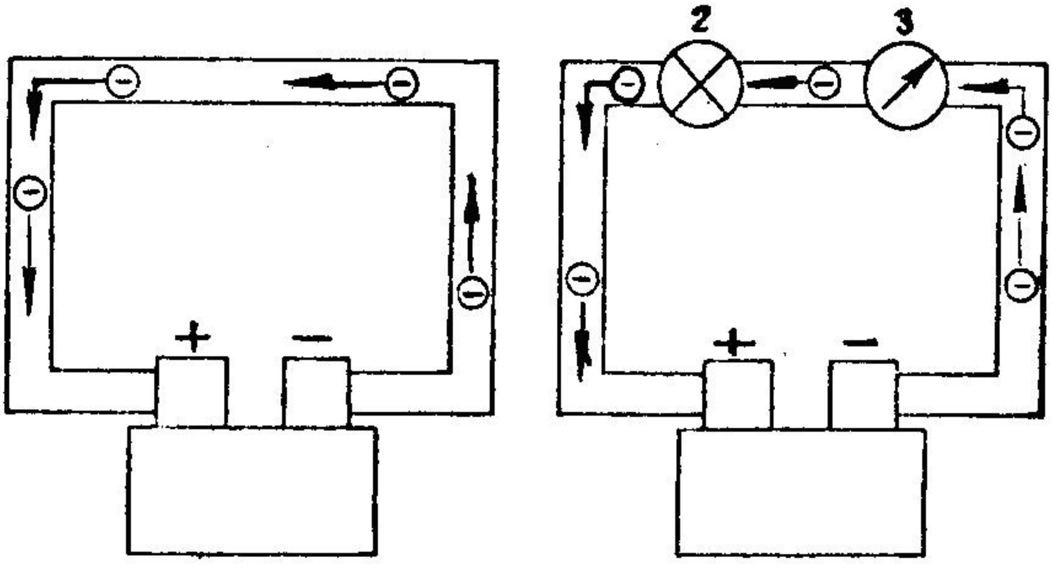
وفى هذا الفصل سيتم شرح التعريفات الأساسية للكميات الكهربائية المستخدمة فى دوائر التيار المستمر مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة والقدرة والطاقة الكهربائية بالإضافة إلى دراسة العلاقات والقوانين الهامة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية والكفاءة.

شدة التيار الكهربائى :(Electric Current)

يقصد بالتيار الكهربى تحرك أو سريان شحنة كهربائية فى اتجاه ما تحت تأثير قوة المجال الكهربى . وكما ذكرنا فى الجزء الأول (الكهروستاتيكية) فإنه يوجد نوعان من الشحنة الكهربائية ، شحنة موجبة (شحنة البروتون) وشحنة سالبة (شحنة الإلكترون) ، وسريان شحنة موجبة فى اتجاه ما يكافئ سريان شحنة سالبة متساوية فى المقدار ومتضادة فى الاتجاه . وذلك لأن انتقال شحنة سالبة من مكان ما يترك وراءه نقصا فى الشحنة السالبة أى زيادة مساوية فى الشحنة الموجبة . ولقد اصطلح على اعتبار اتجاه التيار الكهربى بأنه هو اتجاه سريان الشحنة الموجبة ، أي إن اتجاه التيار فى هذه الحالة هو عكس اتجاه سريان الإلكترونات الحرة .

إن التيار الكهربائي المزود من البطاريات (خلايا جافة) هو عبارة عن تيار ثابت، و إذا نظرنا إلى البطارية الجافة المبينة بالشكل (٤- ١) نجد نتوأين برأس معدنيين، أحدهما يعرف بالقطب السالب، و الآخر بالقطب الموجب. فإذا وصلنا ناقل سلكي بين القطبين أي إذا وصلنا أحد نهايات الناقل بالقطب الموجب و

النهاية الأخرى بالقطب السالب كما هو مبين بالشكل (٤- ١) فنجد أن الشحنات السالبة سوف تتحرك من القطب السالب إلى القطب الموجب باستمرار و عندها تشكل التيار الكهربائي. فإذا وضعنا مصباحاً كهربائياً بين طرفي الناقل كما هو مبين بالشكل (٤- ١ب)، نجد أن المصباح يضيء، و هذا دليل على مرور التيار الكهربائي. و إذا وضعنا مقياس الأمبير بين طرفي الناقل، فإن المؤشر سوف يتحرك إلى الطرف الآخر، مما يدل على مرور التيار الكهربائي عبر الناقل.



أ ب

1-خلية جافة. 2- مصباح. 3 – مقياس الأمبير.

شكل (٤- ١) التيار الكهربائي

وتعرف شدة التيار الكهربى المار فى موصل عبر مقطع ما بأنها كمية الشحنة الموجبة (أو ما يكافئها من الشحنة السالبة) التى تعبر هذا المقطع فى الثانية الواحدة .ويرمز لشدة التيار بالرمز I والشحنة بالرمز Q والزمن بالرمز t ، وعليه فإن شدة التيار تعطى بالمعادلة :

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (C/s) \quad \text{Coulomb/second} \qquad (4\text{-}1)$$

ووحدة التيار هى ألأمبير (ampere) فى النظام العالمى ، أى أن

1 Ampere = Coulomb /second

وحيث إن التيار المستمر هو تيار ثابت فى المقدار والإتجاه (أى لا يعتمد على الزمن) وبالتالي فيأخذ الصورة : أخذنا

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{Ampere (A)} \qquad (4\text{-}2)$$

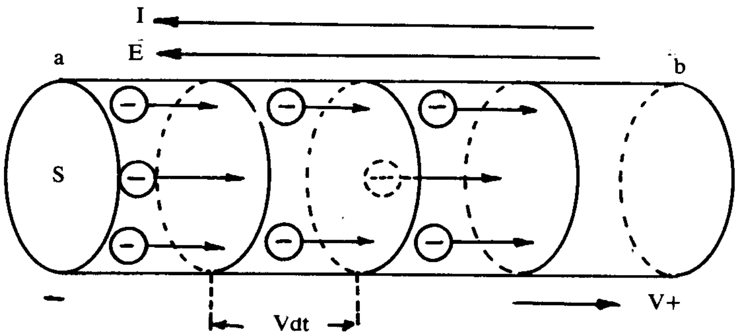
يعبر عن التيارات الصغيرة بالملي أمبير (mA) و يساوي 0.001 A و بالميكروأمبير و يساوي A(1/ 1000000) واتجاه التيار المصطلح هو عكس اتجاه تحرك الشحنات السالبة في الموصلات. و إذا أخذنا اتجاه التيار و علاقته باتجاه هذه الشحنة فإن المعادلة (4-2) يمكن كتابتها بالصورة التالية:

$$I = -\frac{dQ}{dt} \qquad (4\text{-}2\text{-}a)$$

إذا تعرضت قطعة من سلك موصل منتظم [شكل (٤- ٢)] لمجال كهربائي شدته E و متجه إلى اليسار فإن الإلكترونات ستتحرك إلى اليمين. فإذا فرضنا أن كل الكترون يسير بسرعة ثابتة مقدارها v فإنه سيقطع مسافة قدرها vdt في زمن قدره dt .وإذا كانت مساحة مقطع السلك S و كانت n عدد الإلكترونات الحرة في وحدة الحجم، فإن عدد الإلكترونات التي تمر من مقطع السلك في الزمن dt تساوي n.S.v.dt . فإذا كانت **e** تمثل شحنة الإلكترون فإن الشحنة الكلية التي تمر في هذه المسافة في الزمن dt هي :

$$dq = e.n.v.S.dt \qquad (4\text{-}3)$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = n.e.v.S \qquad (4\text{-}4)$$



شكل (٤- ٢)

كثافة التيار:

و تعرف كثافة التيار لموصل ما بأنها خارج قسمة التيار على مساحة مقطع الموصل أي إن:

$$J = I / S = n.e.v \qquad (4\text{-}5)$$

و تحدد المعادلة (٤- ٥) متوسط كثافة التيار في المساحة **S**. فإذا لم يكن التيار موزعا بانتظام فإنه يمكن اعتبار مرور التيار خلال مساحة متناهية في الصغر مقدارها **dS** و بذلك يمكن كتابة كثافة التيار بالصيغة التالية:

$$J = dI / dS \qquad (4\text{-}6)$$

أي إن كثافة التيار عبارة عن التيار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه سريان الشحنة.

كمية الكهرباء : (Quantity of Charge)

تعرف كمية الكهرباء على أنها عدد الإلكترونات التى تمر خلال مساحة مقطع مستعرض لموصل فى الثانية الواحدة .

ويرمز لكمية الكهرباء بالرمز Q ووحدتها الكولوم (وحدة الشحنة الكهربائية) وبالتالي يمكن الحصول على كمية الكهرباء من التعريف السابق لشدة التيار ، أى أن

$$Q = I . t \qquad \text{Ampere – second (Coulomb)} \qquad (4\text{-}7)$$

حيث I هى شدة التيار الكهربى ، t هو الزمن .

أي إنه يمكن الحصول على كمية كهرباء قدرها ١ كولوم عند إمرار تيار كهربائي مقداره ١ أمبير لفترة مقدارها ثانية واحدة .

الجهد الكهربائي : (Electric Potential)

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات. ويمكن الشغل هذا من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازنا فى الشحنات . ويسمى الشغل هذا بالجهد الكهربائى .

القوة الدافعة الكهربائية : (Electromotive Force)

سبق أن عرفنا فى الوحدة الأولى فرق الجهد بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الموجبة بين النقطتين فى اتجاه عكس المجال الكهربى الموجود بينهما . ومن المنابع التى لها فرق جهد ما يلى:

(١) البطاريات:

لقد سبق شرحها فى الوحدة الثانية وفيها تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة كهربائية . وهى تتيح لنا فروق جهد صغيرة نسبيا بين طرفيها. ويسري التيار الكهربى خارج البطارية من القطب الموجب عبر الأحمال المختلفة إلى القطب السالب . والتيار لابد أن يسري فى مسار مقفل ، أي إنه لابد أن يسري داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب . والشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربية للبطارية ، والتى يرمز لها بالرمز E ووحدتها هى وحدة فرق الجهد أى الفولط(Volt).

(٢)المولدات الكهربائية:

وهى مولدات التيار المستمر وفيها تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ، وهذه الطاقة تتيح فرق جهد عاليا نسبيا . ومثل البطاريات فإن هناك قوة دافعة كهربية تدفع التيار على المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل أسلاك المولد نفسه. ويرمز لها أيضا بالرمز E .

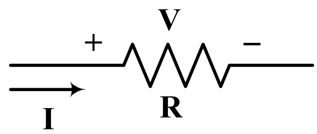
المقاومة وقانون أوم : (Resistance and Ohm's law)

إن التيار الكهربى هو نتيجة تحرك شحنات كهربية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة المقاومة ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R .

وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفي المقاومة على شدة التيار المار فيه . أى أن

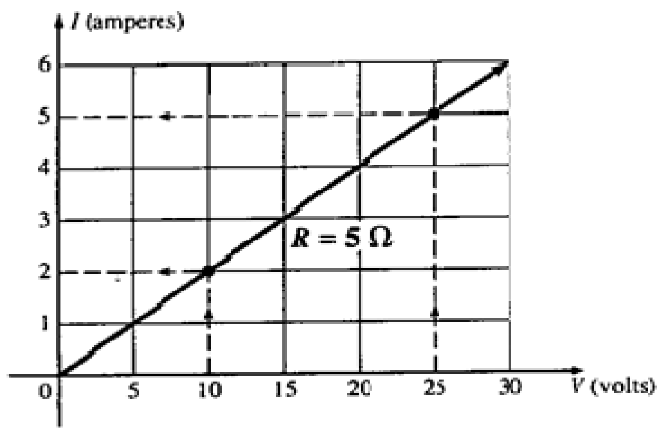
$$R = V / I \qquad (4\text{-}8)$$

حيث R هى المقاومة (Resistance)، V هو فرق الجهد المسلط ، I هوالتيار المار . ووحدة R هى Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألمانى جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتينى Ω (Omega) . وتعرف العلاقة(4-8) بقانون أوم (Ohm's law) . شكل (٤- ٣) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R .



شكل (٤- ٣)

ولقد لاحظ أوم أن مقاومة الموصلات المعدنية ثابتة عند درجة حرارة معينة ولا تتوقف على أى من فرق الجهد أو التيار . أى أن العلاقة بين فرق الجهد V المسلط عبر طرفيه وبين التيار الناتج I هى علاقة خطية عند درجة حرارة معينة ، أى أن هذه العلاقة تمثل بخط مستقيم كما فى شكل (٤- ٤). وميل هذا الخط المستقيم بالنسبة لمحور التيار هو المقاومة R ومن أمثلة المقاومات الخطية الموصلات المعدنية .



شكل (٤- ٤) العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في الموصل.

النواقل- العوازل- أنصاف النواقل:

إن حركة الشحنات تكون سهلة و حرة في بعض الأجسام، و تكون صعبة و شديدة في أجسام أخرى. و جميع الأجسام يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أصناف:

- نواقل
- أنصاف نواقل
- عوازل

و ذلك وفقا لدرجة السهولة التي تتمتع بها الشحنات في حركتها، و سنقوم بدراسة تفصيلية لكل منها:

<u>النواقل:</u>

إن الأجسام المعروفة بالنواقل تنحصر في:

- المعادن بجميع أنواعها.
- الغرافيت و هو شكل من الكربون الأسود الطري.
- الأرض و جسم الإنسان.
- المحاليل بجميع أنواعها: الحمضي- و الملحي- و القلوي.

ففي جميع هذه الأجسام نجد أن الشحنة الكهربائية يمكنها أن تتحرك بسهولة و بدون قيد. حيث يمكن الحصول على التيار الكهربائي بواسطة شكلين مختلفين:

الشكل الأول: التوصيل الإلكتروني:

ونعني بالتوصيل الإلكتروني، بأن التيار الكهربائي يمكن الحصول عليه بواسطة الحركة المستمرة و المتواصلة للإلكترونات الحرة، بينما الذرات و الجزئيات التي تؤلف الناقل تبقى في حالة ثبات دون حركة. و يعتبر الناقل المعدني شكلا من أشكال التوصيل الإلكتروني، حيث إن قوة الجذب بين الإلكترونات الخارجية و النواة في المادة المعدنية تكون قليلة و صغيرة نسبيا، و يمكن للإلكترونات أن تنطلق و تتحرر من مدارها بسهولة جدا: و نتيجة لهذه الحركة نحصل على التيار الكهربائي.

الشكل الثاني: التوصيل الأيوني:

و نعني بالتوصيل الأيوني بأن التيار الكهربائي يمكن الحصول عليه بواسطة الحركة المستمرة و المتواصلة للأيونات المتشردة في المحلول المائي. حيث إن هذه المحاليل تتركب من شوارد و أيونات موجبة و سالبة، و نحصل على الأيونات الموجبة عندما تخسر ذرة أو مجموعة ذرات، جزءا من الإلكترونات أما الأيونات السالبة فيمكن الحصول عليها عن طريق ربح الذرة أو مجموعة الذرات على إلكترونات إضافية و عندما تكون هذه المواد في حالة صلبة و جافة، فإن الأيونات الموجبة و السالبة تكون في حالة ثبات و لا تستطيع الحركة، و بالتالي لا يمر تيار كهربائي. و منه نستطيع أن نستنتج:

إن جميع المحاليل المائية تنقل التيار الكهربائي في الحالة السائلة فقط، أما الحالة الصلبة فلا تنقل التيار الكهربائي.

إذا تم تطبيق حقلا كهربائيا على المحلول، فنحصل على حركة باتجاه معين للأيونات تحت تأثير قوة الكهرباء الساكنة، فالأيونات الموجبة ستتحرك باتجاه خطوط قوة التيار، بينما الأيونات السالبة سوف تتحرك بالاتجاه المعاكس، و بذلك يتشكل التيار الكهربائي.

إن التوصيل الكهربائي من خلال الأرض أو جسم الإنسان ينتمي إلى التوصيل الأيوني، حيث إن كلاً من جسم الإنسان و الأرض الرطبة، يحتوي على العديد من الأيونات الحرة.

وإن الكمية الفيزيائية المصنف بها المعدن هي عبارة عن القدرة المحددة في التوصيل و ندعوها بالمقاومية أو القدرة على المقاومة، فكلما كانت المقاومية أصغر كلما كانت على نحو أفضل للتوصيل. فالموصلات الكهربائية هي مواد لا تتعرض الإلكترونات الحرة فيها سوى لمقاومة صغيرة، عندما تتحرك داخلها حركة موجهة، فهي توصل التيار الكهربائي. و من هذه المواد: الفضة، والنحاس، والألمنيوم، والفولاذ، والكربون، والزئبق، والتنغستين و الجدول (٤- ١)فيه مقاومية عدد من المعادن.

جدول (٤- ١)المقاومية(المقاومة النوعية) و المعامل الحراري لبعض المواد

المــواد	$\varrho(\Omega.m)$	α
ألــومنيوم	0.282×10^{-7}	0.0039
بــيزموثت	12.5×10^{-7}	0.004
نحــاس أصفر	0.719×10^{-7}	0.002
كـــربون 0°	349.65×10^{-7}	–0.0005
كـــربون 500°	270.3×10^{-7}	–0.0005
كـونستنتان	4.9×10^{-7}	0.00001
نحــاس ملدن	0.172×10^{-7}	0.00393
نحــاس صلب مسحوب	0.176×10^{-7}	0.00382
حــديد نقي 99.98%	1.0×10^{-7}	0.005
رصـــاص	2.22×10^{-7}	0.004
مـنـقتين (Cu84%, Mn12%, Ni4%)	4.35×10^{-7}	0.000002
زئبـق	9.62×10^{-7}	0.00089
نـيكروم	10.00×10^{-7}	0.0004
فـضـة	0.162×10^{-7}	0.0038
صـوديوم «صلب» 0°	0.43×10^{-7}	0.0044
صـوديوم «سائل» 1161°	1.02×10^{-7}	0.0033
فـولاذ	6.21×10^{-7}	0.0008
ولـفرام «تنجستن»	0.552×10^{-7}	0.0045
زنــك	0.58×10^{-7}	0.0037
كـهرمان	5.0×10^{14}	
شـمـع الختم	8.0×10^{13}	
مطــاط صلب	$2\times10^{13} - 1\times 10^{16}$	
زجــاج عادي	9×10^{11}	
خشـب المهاقوني	4×10^{11}	
صفـائح زجاج تجاري	2×10^{11}	
خشـب الاسفندان	3×10^{8}	
أليــاف حمراء	5×10^{7}	
رخـام	1×10^{5}	
بـاكليـت	$2\times10^{5} - 2\times10^{14}$	
زيـت البرافين	1×10^{14}	
إثـايل الكحول	3×10^{3}	
مـــاء مقطر	5×10^{3}	
مـحلول كلوريد الصوديوم	8.33×10^{-2}	
كـلوريد الصوديوم المنصهر	2.94×10^{-3}	

الجدول (٤- ٢) السماحية النسبية و متانة العزل لعدد من المواد

المادة	السماحية النسبية ε_r	متانة العزل [MV/m]
الهواء	1.0007	3
الخزف	6	8
زيت المحولات	4	16
المطاط	3	27
الورق المشمع	2.5	52
بلاستيك(تفلون)	2	60
زجاج	**7.5**	120
مايكا	**5**	200

العوازل:

العوازل هي عبارة عن المواد التي تكون فيها حركة الشحنات صعبة جدا و تكون مقتصرة على بعض المواد كما يبين الجدول:

نرى كثيرا من المواد العازلة مستخدمة في التطبيقات اليومية في الأجهزة الكهربائية و من أشهرها : المواد البلاستيكية بأنواعها المتعددة و الزيوت و الزجاج و السيراميك و الورق و أكاسيد المعادن. كل هذه

المواد تتميز بمقاومة نوعية عالية تفوق 10^{12} أوم متر و عند اختيار المادة العازلة يراعى فيها جودة العزل و منع تسريب التيار الكهربائي من خلال المادة و كذلك متانة العزل أو المتانة الكهربائية للمادة. و يقصد بهذه أقصى فولتية تتحملها المادة لكل متر دون أن تنهار و تبدأ بالتوصيل.

وتتأثر المواد العازلة بالشوائب و الظروف الجوية من حرارة و رطوبة. فالشوائب و العيوب التركيبية في المواد العازلة تؤدي الى انخفاض المقاومة النوعية. و أما ارتفاع درجة الحرارة فيؤدي الى هبوط المقاومة أيضا.

وإن من الخواص المهمة للعوازل هو ثابت العزل ε و يحدد عادة نسبة إلى ثابت العزل للفراغ أو الهواء المطلق و هو $\varepsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}$ و ε_r ويشار إليه بالسماحية النسبية و هذه الخاصية تصف قابلية المادة في استيعاب خطوط الفيض للمجال الكهربائي فيها. وفي الجدول (٤- ٢) تظهر السماحية النسبية و متانة العزل لعدد من المواد العازلة.

ان متانة العزل قد تنخفض كثيرا بفعل تراكم الشوائب و الأتربة على سطوح المواد العازلة مما يؤدي الى تسرب التيار. و قد تنجم عن هذا التيار حرارة عالية أو قوس شرارة بين النقاط المعزولة مما يؤدي إلى تدهور المتانة و حدوث الإنهيار بمرور الزمن. و قد نرى عمليا ان أضرارا كبيرة تلحق بالمنظومات الكهربائية نتيجة تأثر المواد العازلة بمرور الزمن.

__المواد شبه الموصلة:__

هناك انواع كثيرة من المواد تصنف بمثابة مواد شبه موصلة تتراوح مقاومتها النوعية من 10^{-6} الى 10^{6} أوم متر و تتأثر هذه المواد بصورة كبيرة بالشوائب، و هي ليست مألوفة من التطبيقات العامة بل إنها تدخل في تصنيع الأجهزة و النبائط الإلكترونية.

إن من المواد شبه الموصلة الأكثر شيوعا مادة السيليكون و الجيرمانيوم و مواد أخرى مركبة كأرسنيد الكاليوم و غيرها. و من أهم صفات هذه المواد أنها تتأثر كثيرا بالحرارة و بالضوء و الضغط و غيرها من العوامل الخارجية. كما أن مقاومتها النوعية يمكن أن تتحدد بفعل تطعيم المادة بالشوائب. وأن تأثر خواصها الكهربائية بالعوامل الخارجية يجعلها مادة صالحة للاستخدام كمجسات لتحسس الظواهر الفيزيائية من حرارة و صوت و ضوء و غيرها.

و يمكن التمييز بين المعادن و المواد شبه الموصلة في أن الأخيرة لها معامل حراري سالب للمقاومة أي أن مقاومتها النوعية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة.

العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل :

(١) طول الموصل
(٢) مساحة المقطع
(٣) نوع مادة الموصل
(٤) درجة الحرارة

تتناسب مقاومة الموصل تناسبا طرديا مع طول الموصل وتتناسب عكسيا مع مساحة مقطعه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة ، ولذلك أمكن الحصول على العلاقة :

$$R = \rho \ell / A \qquad (4\text{-}9)$$

حيث ρ ثابت يتوقف على نوع المادة وتسمى المقاومة النوعية (Resistivity) ، ووحدتها هى أوم_متر (Ohm_meter) . و ℓ هى طول الموصل ، و A هى مساحة مقطعه . وجدير بالذكر أن نعرف هنا ما يسمى الموصلية النوعية (Conductivity) σ وهى مقلوب المقاومة النوعية ρ ، أى أن

$$\sigma = 1 / \rho = \ell / R A \qquad (4\text{-}10)$$

ووحدة σ هى $(\text{Ohm- meter})^{-1}$ أو S /m حيث $1 \text{ siemens (S)} = 1 (\text{ohm})^{-1}$.

ويجدر بنا أيضا أن نعرف هنا ما يعرف بالموصلية (G (Conductance وهى مقلوب المقاومة ،أى أن

$$G = 1 / R \quad (\text{mho})$$

أى أن وحدة G هى mho أو $(\text{ohm})^{-1}$ ، أو S (Siemens)

تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل :

تتغير المقاومة النوعية للمواد المختلفة مع تغير درجة الحرارة ، وتأخذ الصورة :

$$\rho_T = \rho_0 (1+ \alpha_0 \; T) \qquad (4\text{-}11)$$

حيث T هى درجة الحرارة مقاسة بالتقدير المئوي ، α_0 يسمى المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوبا للصفر المئوي جدول (٤- ١) . ويمكن الحصول على العلاقة التى تمثل تغير المقاومة مع درجة الحرارة كالآتي :

$$R_T = \rho_T \ell /A \quad , \quad R_0 = \rho_0 \ell /A$$

وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_T = \rho_T \ell /A = \rho_0 (\ell /A) (1+ \alpha_0 T)$$

أى أن

$$R_T = R_0 (1+ \alpha_0 T \qquad (4\text{-}12)$$

ويمكن الآن إيجاد المقاومة عندما ترتفع درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 كالآتي :

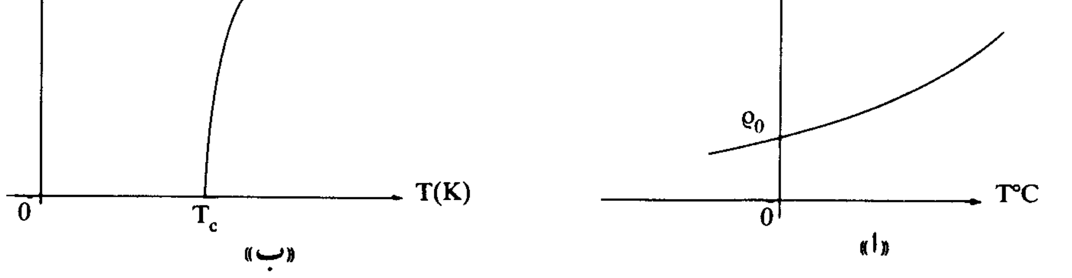
$$R_{T1} = R_0 (1+ \alpha_0 T_1) \quad , \quad R_{T2} = R_1 (1+ \alpha_1 T_2) \qquad (4\text{-}13)$$

وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_{T2} = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_2 - T_1)] \qquad (4\text{-}14)$$

المعامل الحراري الموجب و المعامل الحراري السالب:

و هذه العلاقات المستنتجة أعلاه تصلح فقط للمعادن و أما في حالة السوائل الموصلة فإن المقاومة تنخفض بارتفاع درجة الحرارة نتيجة انخفاض لزوجة المحلول بارتفاع الحرارة مما يؤدي إلى زيادة سرعة الأيونات، و لهذا فإن المعامل الحراري للمقاومة يكون سالبا. و في حالة أشباه الموصلات تقل المقاومة بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة عدد الإلكترونات الحرة. و يلاحظ أن هناك طائفة من المعادن تسمى بالموصلات فائقة (مفرطة) التوصيل شكل (٤- ٥) و التي فيها تختفي المقاومة تماما عند درجات حرارة أقل من 10 درجات مطلقة ولذلك سميت بالمواد فائقة التوصيل مرتفعة الحرارة و صنعت هذه المواد من مواد خزفية.



شكل (٤- ٥)

أ- العلاقة بين المقاومة النوعيةρ و درجة الحرارة T للموصلات.

ب- العلاقة بين المقاومةρ النوعية و درجة الحرارة T للمواد فائقة التوصيل.

حيث

$$\alpha_{T1} = \alpha_0 / (1 + \alpha_0 T_1) \qquad (4\text{-}15)$$

حيث α_{T1} المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوبا لدرجة الحرارة T_1 . وهذا المعامل الحراري يكون موجبا للموصلات المعدنية ، أى أن المقاومة R تزداد بازدياد درجة الحرارة T .

<u>مثال (٤- ١):</u>

موصل نحاسي طوله 5 m وقطر مقطعه الدائري المستعرض 5 mm ، احسب مقاومته عند درجة حرارة $20^\circ C$ إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند $20^\circ C$ تساوي $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

<u>الحل:</u>

يمكن الحصول على مقاومة الموصل من العلاقة التالية :

$$R = \rho\, \ell / A$$

حيث ℓ طول الموصل ، وρ هى المقاومة النوعية ، وA هى مساحة مقطعه وهى تساوي

$$A = \pi D^2 /4$$

حيث D هو قطر الموصل ، لذلك يمكن الحصول على المساحة كالآتي :

$$A = \pi D^2 /4 = \pi (5 x 10\text{-}3)^2 /4 = 6.25\, \pi x 10\text{-}6 \quad m^2$$

ولذلك يمكن الحصول على المقاومة R كالآتي :

$$R = \rho\, \ell / A = (1.72 x 10\text{-}8) (5) / (6.25\, \pi x 10\text{-}6) = 4.38 \quad m\,\Omega$$

<u>مثال (٤- ٢):</u>

تبلغ مقاومة موصل معدني 7Ω عند 0^OC، وتصبح $7.8\ \Omega$ عند $200\ ^\circ C$ ، احسب معامل درجة حرارة المعدن عند $200\ ^\circ C$.

<u>الحل:</u>

يمكن حساب معامل درجة حرارة المعدن باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_{T2} = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_2 – T_1)]$$

أى أن

$$R_0 = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_0 – T)]$$

وبالتعويض عن القيم المعطاه فى الصورة السابقة ، أى

$$7 = 7.8 [1+ \alpha_{T1} (0 – T)]$$

ومن ذلك نحصل على α_{T1} (معامل درجة الحرارة عند $200\ ^{\cdot}C$) = $0.005130\ C^{-1}$

<u>مثال (٤- ٣)</u>

موصل مقاومته $25\ \Omega$ تزداد مقاومته بمقدار 10% عندما تزداد درجة حرارته من 15 إلى $500\ ^{\cdot}C$ ، حسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطة تبلغ $200\ ^{\cdot}C$ عندما تكون مقاومته 30Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتا .

<u>الحل:</u>

يمكن حل هذا المثال باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_T = R_0 (1+ \alpha_0 T)$$

وبالتالي يكون

$$R_{15} = 25 = R_0 (1+ 15\alpha_0) ,$$
$$R_{50} = 25+2.5 = 27.5 = R_0 (1+ 50\alpha_0)$$

بحل المعادلتين السابقتين معا نحصل على:

$$\alpha_0 = 0.0029850\ C\text{-}1 \quad , \quad R_0 = 23.9286\ \Omega$$

ويمكن حساب درجة حرارة الموصل عندما تكون مقاومته $30\ \Omega$ كالآتي :

$$R_T = 30 = R_0 (1+ \alpha_0 T) = 23.9286 (1+ 0.002985 T)$$

وبالتالي نحصل على درجة الحرارة $T = 85^0 C$

وبالتالي يكون الإرتفاع فى درجة الحرارة ΔT

$$\Delta T = 85 – 20 = 65°\ C$$

القدرة والطاقة الكهربائية : Electric Power and Energy

عند مرور تيار كهربى قدره I فى موصل مقاومته R فإن طاقة كهربية تتحول إلى طاقة حرارية تعمل على رفع درجة حرارة المقاومة . فإذا كان الجهد بين طرفي هذا الموصل هو V فإن شحنة قدرها dQ تمر فى زمن قدره dt تعطى بالعلاقة لتالية:

$$dQ = I\,dt$$

وتكون بالتالي الطاقة التى تكتسبها هذه الشحنة (كما سبق دراسته فى الوحدة الأولى) فى الصورة :

$$dW = V\,dQ = V\,I\,dt$$

والقدرة الكهربية التى تعرف على أنها معدل تغير الطاقة بالنسبة للزمن تكون :

$$P = dW / dt = V\,I\,dt / dt = V\,I \qquad (4\text{-}16)$$

أى أن القدرة الكهربية P تعطى قيمتها من شدة التيار وفرق الجهد ، ووحدتها هى joule / s أو (Watt) ومن قانون أوم نجد أن

$$V = I\,R \quad , I = V / R$$

لذلك يمكن أن تأخذ القدرة P الصور التالية:

$$P = VI = I^2 R = V^2 / R \qquad \text{Watt} \qquad (4\text{-}17)$$

فى حالة المنبع الكهربى فإن الشحنة تتحرك داخله من النقطة الأقل جهدا إلى النقطة الأعلى جهدا ، أي أنها تكتسب طاقة كهربية أثناء مرورها داخل المنبع ، وهذا لابد أن يأتى من صورة مختلفة من صور الطاقة ، فإذا كان المنبع مثلا بطارية فإن الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربية ، وتكون القدرة فى هذه الحالة :

$$P = E\,I \qquad \text{Watt} \qquad (4\text{-}18)$$

حيث E هى القوة الدافعة الكهربية للبطارية .

ويمكننا الحصول على الطاقة الكهربية المفقودة أو المكتسبة W كالآتى :

$$W = P\,t \qquad (\text{Watt-sec or Joules}) \qquad (4\text{-}19)$$

الكفاءة: (Efficiency)

تنتقل الطاقة الكهربية من المصدر الكهربى إلى الأحمال عبر الموصلات الكهربية و يمكننا أن نعرف عندئذ الكفاءة η للنظام كالآتى :

$$\eta = P_o / P_i \qquad (4\text{-}20)$$

حيث P_o هى القدرة الخارجة (قدرة الحمل) و P_i هى القدرة الداخلة (قدرة المنبع) و التى يمكن حسابها كالآتى :

$$P_i = E\ I \qquad (4\text{-}21)$$

حيث E هو جهد المنبع ، I هو التيار الداخل . ويمكن كذلك حساب P_i كما يلي :

$$P_i = P_o + P_{loss} \qquad (4\text{-}22)$$

حيث P_{loss} هى القدرة المفقودة فى الموصل ، والتى يمكن حسابها كالآتى :

$$P_{loss} = I^2 R$$

حيث I هو شدة التيار و R هى المقاومة .

ويمكننا كذلك أن نعرف الكفاءة η بدلالة الطاقة كالآتى :

$$\eta = W_o / W_i$$

حيث W_o هى الطاقة الخارجة و W_i هى الطاقة الداخلة .

<u>**مثال (٤– ٤):**</u>

احسب التيار المار فى المقاومة 2 K Ω إذا كان فرق الجهد بين طرفيها 16 V .

<u>**الحل:**</u>

يمكن حساب التيار الكهربى I طبقا لقانون أوم كالآتى :

$$I = V / R = (16 / 2000) = 8\ mA$$

حيث V هو فرق الجهد بين طرفى المقاومة ، R هى المقاومة .

<u>مثال (٤- ٥):</u>

احسب القدرة المفقودة فى المقاومة 5Ω إذا كان التيار المار بها $4\ A$.

<u>الحل:</u>

القدرة المفقودة فى المقاومة هى :

$$P = I^2 R = (4)^2 (5) = 80 W$$

<u>مثال (٤- ٦):</u>

احسب الطاقة الكهربية اللازمة لإضاءة مصباح كهربى قدرته $60\ W$ لمدة سنة .

<u>الحل:</u>

يمكن حساب الطاقة الكهربية W كالآتى:

$$W = P t = 60 (24) (365) / 1000 = 525.6 KWh$$

حيث P هى القدرة الكهربية و t هو الزمن .

<u>مثال (٤- ٧):</u>

احسب قدرة المحرك الكهربى إذا كانت الكفاءة 80% وكان التيار المغذي للمحرك $8\ A$ عند

$120\ V$

<u>الحل:</u>

حيث إن الكفاءة η تعطى بالعلاقة :

$$\eta \% = (P_o / P_i) (100 \%)$$

$$P_i = V I = (120) (8) = 960 W$$

ولذلك نحصل على قدرة المحرك P_o كما يلي :

$$0.80 = (P_o / 960)$$

$$P_o = (0.8) (960) = 768 W$$

ويمكن الحصول على قدرة المحرك بالحصان((hourse_ Power (hp) كالآتى :

$$P_o = 768 \text{ W} (1 \text{ hp} / 746 \text{ W}) = 1.029 \text{ hp}$$

مثال (٤– ٨):

تبلغ القدرة التى يأخذها ملف مقاوم مصنوع من سلك نحاسى W 220 عند V 110 و C 20 . احسب القدرة التى يستهلكها الملف عند V 110 و C 120 ، إذا كان معامل درجة الحرارة عند 20^0 C هو 0.00393 C^{-1} .

الحل:

يمكننا الحصول على القدرة المطلوبة P_{120} كما يلي :

$$P_{20} = V^2 / R_{20}$$

$$R_{20} = V^2 / P_{20} = (110)^2 / 220 = 55$$

$$R_{120} = R_{20} [1 + \alpha_{20} (120 – 20)] = 55 [1 + 0.00393 (100)]$$

$$= 76.615 \ \Omega$$

$$P_{120} = V^2 / R_{120} = (110)^2 / 76.615 = 157.93 \text{ W}$$

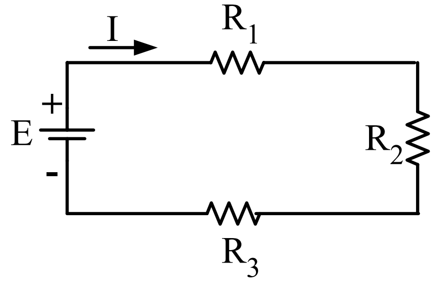
توصيل المقاومات و البطاريات على التوالي

مقدمة :

فى هذا الفصل سيتم شرح كيفية توصيل المقاومات والبطاريات على التوالى فى الدوائر الكهربائية ، بالإضافة إلى شرح قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد ، مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

توصيل المقاومات على التوالى:

إذا ما تم توصيل عدد من المقاومات بشكل ما بحيث يسرى نفس التيار فى كل منها ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوالى كما هو موضح فى شكل (٥- ١) . من هذا الشكل يمكننا إيجاد المقاومة الكلية R_T كالآتى :



شكل (٥- ١) توصيل المقاومات على التوالي.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad \Omega$$

ويمكننا إيجاد المقاومة الكلية فى الصورة العامة لعدد N من المقاومات الموصلة على التوالى كما يلى:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \text{---------------} + R_N \quad \Omega \qquad (5\text{-}1)$$

يمكن الحصول كذلك من شكل (٥- ١) على التيار I طبقا لقانون أوم ، أى أن :

$$I = E / R_T \quad A \qquad (5\text{-}2)$$

حيث E هى القوة الدافعة الكهربية للبطارية . ويمكن كذلك إيجاد فرق الجهد عبر كل مقاومة فى الصورة العامة طبقا لقانون أوم كما يلى :

$V_1 = I R_1$, $V_2 = I R_2$, $V_3 = I R_3$, ----------, $V_N = I R_N$ V (5-3)

والقدرة المفقودة فى كل مقاومة يمكن حسابها باستخدام أى من المعادلات التالية الموضحة (فى حالة المقاومة R_1) :

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R_1 = V_1^2 / R_1 \quad W \qquad (5\text{-}4)$$

وقدرة المنبع تكون فى هذه الحالة :

$$P_{del} = E I \quad W$$

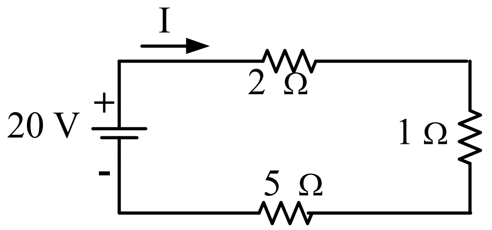
ولأي عدد N من المقاومات موصلة على التوالى تكون القدرة المفقودة فى هذه المقاومات :

$$P_{del} = P_1 + P_2 + P_3 + \text{--------------} + P_N \qquad (5\text{-}5)$$

ونلاحظ هنا أن قدرة المنبع($P_{delivered}$) تساوى القدرة المفقودة فى المقاومات المتصلة على التوالى بهذا المنبع.

<u>مثال (٥- ١):</u>

للدائرة الموضحة فى شكل (٥- ٢) ، احسب : (أ) المقاومة الكلية والتيار الكهربى . (ب) فرق الجهد الكهربى V_1 و V_2 و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 .
(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات R_1 و R_2 و R_3 ، وكذلك قدرة المنبع .



شكل (٥- ٢)

<u>الحل:</u>

(أ) المقاومة الكلية R_T نحصل عليها من المعادلة (٥- ١) وهى :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1 + 5 = 8 \quad \Omega$$

وطبقا لقانون أوم نحصل على التيار I المار فى الدائرة ، أى أن

$$I = E / R_T = 20 / 8 = 2.5 \quad A$$

(ب) وفروق الجهد الكهربى V_1 و V_2 و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هى :

$$V_1 = I\,R_1 = (2.5)\,(2) = 5 \quad V$$
$$V_2 = I\,R_2 = (2.5)\,(1) = 2.5 \quad V$$
$$V_3 = I\,R_3 = (2.5)\,(5) = 12.5 \quad V$$

(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هى على الترتيب :

$$P_1 = I_1^2\,R_1 = (2.5)^2\,(2) = 12.5 \quad W$$
$$P_2 = V_2\,I_2 = (2.5)\,(2.5) = 6.25 \quad W$$
$$P_3 = V_3^2 / R_3 = (12.5)^2 / 5 = 31.25 \quad W$$

وقدرة المنبع هى :

$$P_{del} = E\,I = (20)\,(2.5) = 50 \quad W$$

ونلاحظ هنا أن

$$P_1 + P_2 + P_3 = 12.5 + 6.25 + 31.25 = 50 \;\; W = P_{del}$$

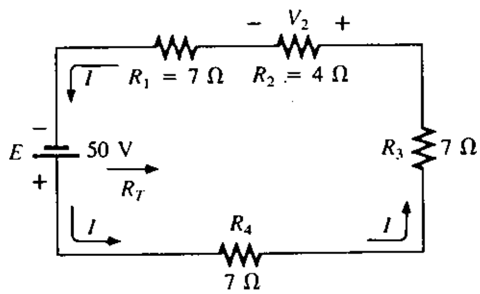
فى حالة توصيل عدد N من مقاومات متساوية R على التوالى تكون المقاومة الكلية هى :

$$R_T = N\,R \qquad (5\text{-}6)$$

مثال (٥- ٢):

أوجد المقاومة الكلية R_T والتيار I وفرق الجهد V_2 للدائرة الموضحة فى شكل (٥- ٣) .

الحل:



شكل (٥- ٣)

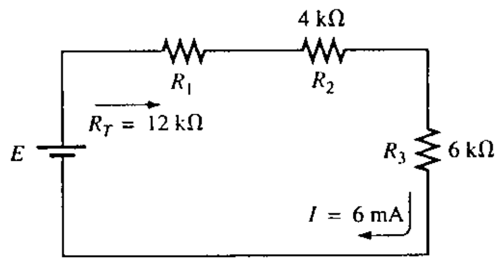
لأن المقاومات $R_1 = R_3 = R_4$ ، فإن المقاومة الكلية تكون :

$$R_T = N\,R_1 + R_2 = (3)\,(7) + 4 = 25 \quad \Omega$$
$$I = E / R_T = 50 / 25 = 2 \quad A$$
$$V_2 = I\,R_2 = (2)\,(4) = 8 \quad V$$

مثال (٥- ٣) :

فى الدائرة الموضحة فى شكل (٥- ٤)المقاومة الكلية R_T والتيار I لها قيم معلومة ، أوجد المقاومة R_1 وجهد البطارية E .

الحل:



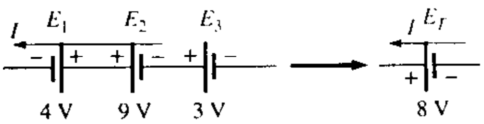
شكل (٥- ٤)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$12 = R_1 + 4 + 6$$
$$R_1 = 12 - 10 = 2 \quad k\,\Omega$$
$$E = I\,R_T = (6)(10^{-3})(12)(10^{3}) = 72 \quad V$$

توصيل المنابع الكهربية على التوالى :

عندما يوصل أكثر من منبع جهد على التوالي ، فإن الجهد الكلي للنظام هو مجموع هذه الجهود بحيث كل جهد يكون مأخوذا بإشارته (موجب أو سالب) ، وبالتالي فإن الجهد الكلي للنظام ممكن أن يزيد أو ينقص إشارة (اتجاه) هذه المنابع . وكما موضح فى شكل (٥- ٥) فإن الجهد الكلي يكون :

$$E_T = E_2 + E_3 - E_1 = 9 + 3 - 4 = 8 \quad V$$

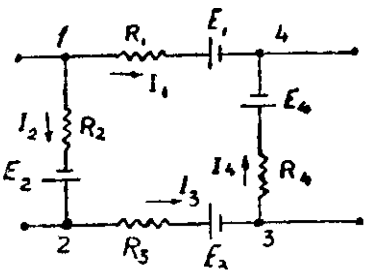


شكل (٥- ٥)

قانون كيرشوف للجهد : (Kirchhoff's Voltage Law)

يعرف هذا القانون على أن : المجموع الجبري لكل من مقادير القوى الدافعة الكهربية للمنابع المختلفة فى دائرة كهربية مقفلة ومقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساويا للصفر .

ويلاحظ هنا أن اتجاه الهبوط فى الجهد على أية مقاومة يضاد اتجاه التيار المار في هذه المقاومة . ولتوضيح تطبيق هذا القانون بدون الوقوع فى بعض الأخطاء الشائعة نفرض أن شكل (٥- ٦) يمثل إحدى الدوائر المقفلة التى تتكون منها دائرة كهربية والتى يراد تطبيق القانون عليها . نفرض أن اتجاه التيارات فى الفروع المختلفة كما هو موضح فى الشكل ونبدأ تطبيق القانون من نقطة معينة (ولتكن النقطة ١) . طبقا



شكل (٥- ٦)

لقانون كيرشوف يجب أن يكون مجموع القوى الدافعة الكهربية ومجموع مقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساويا للصفر ابتداء من النقطة ١ حتى تعود إليها فى أى الاتجاهين ، أى أن فى الإتجاه الأول ١ ٤ ٣ ٢ ١ يكون :

$$-I_1 R_1 - E_1 + E_4 + I_4 R_4 + E_3 + I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0$$

أو فى الإتجاه الآخر ١ ٢ ٣ ٤ ١ يكون

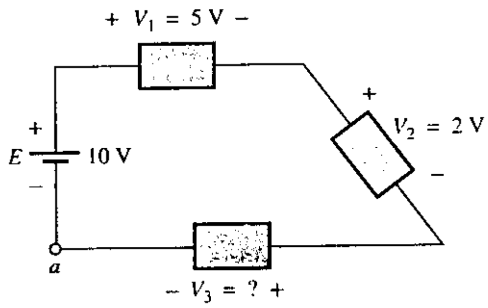
$$-I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 - E_3 - I_4 R_4 - E_4 + E_1 + I_1 R_1 = 0$$

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن القوة الدافعة الكهربية للبطارية تدخل فى المعادلة بإشارة موجبة عندما يكون المرور عليها أثناء تطبيق القانون من القطب السالب إلى القطب الموجب ، كما أن مقدار الهبوط فى الجهد على المقاومة يدخل فى المعادلة بإشارة سالبة عندما يكون المرور على المقاومة أثناء تطبيق القانون فى اتجاه التيار .

مثال (٥- ٤) :

احسب فرق الجهد V_3 للدائرة الموضحة فى شكل (٥- ٧) باستخدام قانون كيرشوف للجهد .

الحل:



شكل (٥- ٧)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد وذلك بأخذ مسار فى إتجاه عقارب الساعة ابتداء من النقطة a فنحصل على :

$$E - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

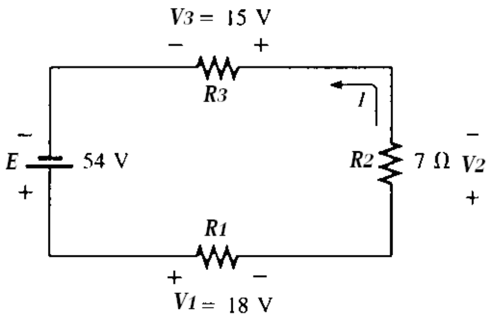
أى أن

$$V_3 = E - V_1 - V_2 = 10 - 5 - 2 = 3 \quad V$$

مثال (٥- ٥):

للدائرة الموضحة فى شكل (٥- ٨) ، أوجد فرق الجهد V_2 و التيار I وأوجد كذلك قيمة المقاومتين R_1 و R_3 .

الحل:



شكل (٥- ٨)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد (بأخذ مسار فى اتجاه عقارب الساعة) نحصل على

$$-E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

ومنها

$$V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 - 18 - 15 = 21 \text{ V}$$
$$I = V_2 / R_2 = 21 / 7 = 3 \text{ A}$$
$$R_1 = V_1 / I = 18 / 3 = 6 \ \Omega$$
$$R_3 = V_3 / I = 15 / 3 = 5 \ \Omega$$

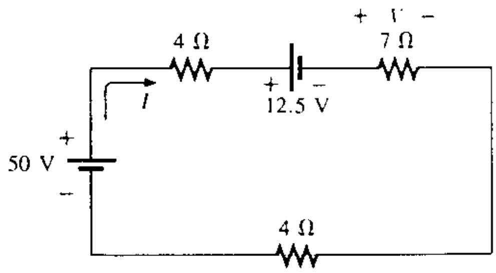
<u>مثال (٥- ٦):</u>

احسب للدائرة المبينة فى شكل (٥- ٩) التيار I وفرق الجهد عبر المقاومة 7Ω وكذلك القدرة المفقودة فى المقاومة 7Ω .

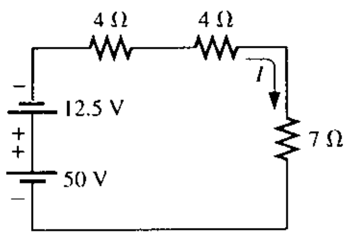
<u>الحل:</u>

يمكننا هنا إبدال موضع العناصر فى الدائرة بدون أن يحدث أى تغيير فى المقاومة الكلية للدائرة أو التيار أو القدرة لأى من هذه العناصر . ففى شكل (٥- ١٠) قمنا بتغيير وضع البطارية 12.5 V وكذلك وضع المقاومة $4\ \Omega$ بدون أن يؤثر ذلك على الدائرة الأساسية .

$$R_T = 4 + 4 + 7 = 15 \ \Omega$$
$$I = E / R_T = (50-12.5) / 15 = 37.5 / 15 = 2.5 \text{ A}$$
$$V_{7\Omega} = I R = (2.5)(7) = 17.5 \text{ V}$$
$$P_{7\Omega} = I^2 R = (2.5)^2 (7) = 43.75 \text{ W}$$



شكل (٥- ٩)



شكل (٥- ١٠)

قاعدة توزيع الجهد : (Voltage Divider Rule)

فى حالة توصيل مقاومات على التوالى مع منبع جهد كهربى ، فإن فرق الجهد عبر أية مقاومة فى هذه الدائرة يساوي حاصل ضرب هذه المقاومة فى جهد المنبع مقسوما على المقاومة الكلية للدائرة .

ويمكن استنتاج هذه القاعدة وذلك من الدائرة الموضحة فى شكل (٥- ١١) كالآتى :

$$R_T = R_1 + R_2$$

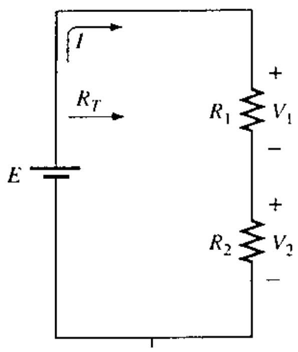
حيث R_T هى المقاومة الكلية ، وبتطبيق قانون أوم نحصل على :

$$I = E / R_T$$
$$V_1 = I\,R_1 = (E / R_T)\,R_1 = (R_1\,E / R_T)$$
$$V_2 = I\,R_2 = (E / R_T)\,R_2 = (R_2\,E / R_T)$$

ويمكن كتابة هذه القاعدة فى الصورة العامة ، أى أن :

$$V_x = (R_x\,E / R_T) \qquad (5\text{-}7)$$

حيث x تمثل رقم المقاومة (......R_1, R_2, R_3) و رقم الجهد بين طرفيها (...V_1, V_2, V_3)فإذا كانت الدائرة تحتوي على 6 مقاومات مربوطة على التسلسل فإن الجهد بين طرفي المقاومة R_6 قيمته V_6 و بالتالي وباستعمال الصورة العامة فإن $V_6 = (R_6\,E/R_T)$

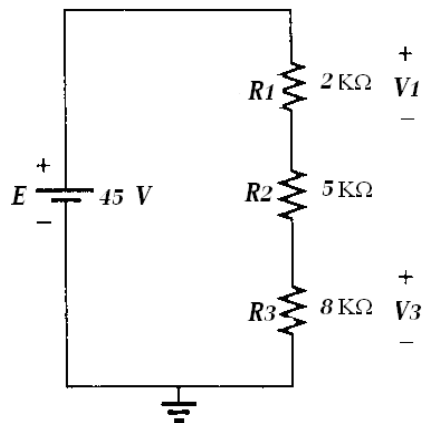


شكل (٥- ١١)

<u>مثال (٥- ٧) :</u>

باستخدام قاعدة توزيع الجهد ، احسب فرقي الجهد V_1 و V_3 للدائرة المبينة فى شكل (٥- ١٢) .

<u>الحل:</u>



شكل (٥- ١٢)

يمكن حساب فرقي الجهد V_1 و V_3 بتطبيق قاعدة توزيع الجهد كما يلى :

$$V_1 = (R_1\ E/\ R_T) = (2 \times 10^3)\ (45)\ /\ (2 + 5 + 8) \times 10^3$$
$$= 90 / 15 = 6\ \text{V}$$
$$V_3 = (R_3\ E/\ R_T) = (8 \times 10^3)\ (45)\ /\ (2 + 5 + 8) \times 10^3$$
$$= 360 / 15 = 24\ \text{V}$$

توصيل المقاومات على التوازي

سيتم فى هذا الفصل شرح كيفية توصيل المقاومات على التوازى وكذلك قانون كيرشوف للتيار بالإضافة إلى قاعدة توزيع التيار ، وكذلك الدوائر المفتوحة ودوائر القصر. وقد تم توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

توصيل المقاومات على التوازى :

إذا تم توصيل عدد من المقاومات بشكل ما بحيث إن فرق الجهد عبر أى منها متساو ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوازى .

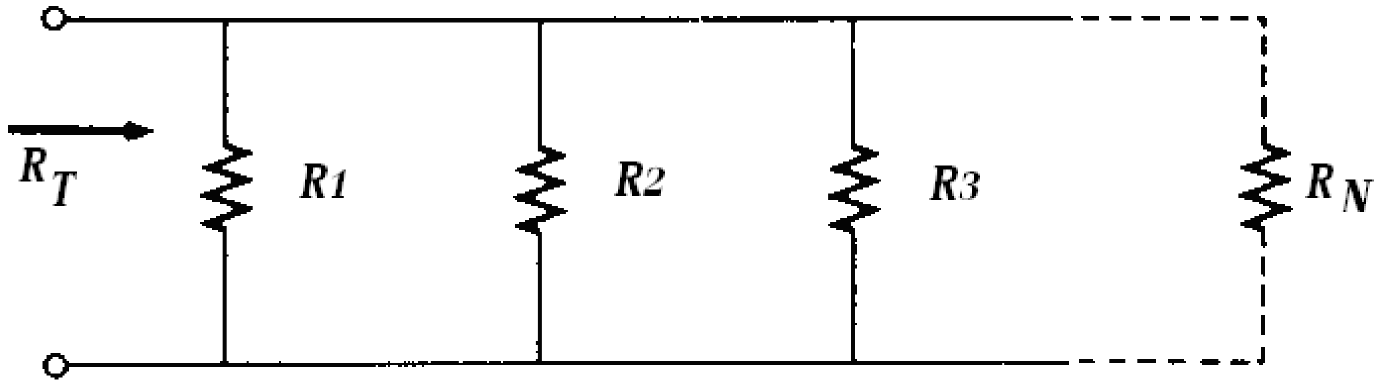
لأي عدد من الموصلية G موصلة على التوازى ، يمكننا أن نحصل على الموصلية الكلية G_T كالآتى :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \text{---------} \; G_N \qquad (6\text{-}1)$$

حيث إن G (كما عرفت فى الفصل الخامس) هى مقلوب المقاومة R ($R = 1 / G$)، وبالتالى فإن :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + \text{---------} + 1 / R_N \qquad (6\text{-}2)$$

حيث R_T هى المقاومة الكلية كما هو موضح فى شكل (٥- ١٣) .

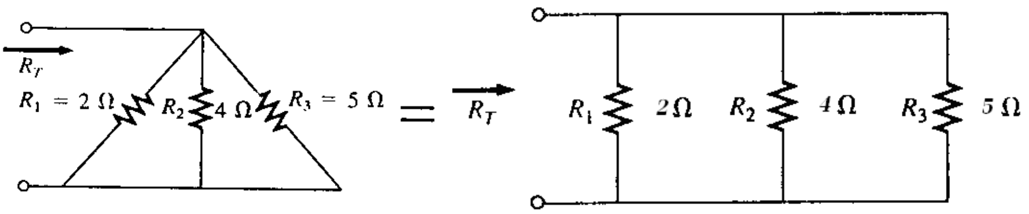


شكل (٦- ١) توصيل المقاومات على التوازي.

<u>مثال (٦- ١)</u> :

للدائرة الموضحة فى شكل (٦- ٢) ، احسب المقاومة الكلية R_T وكذلك الموصلية الكلية G_T.

الحل:



شكل ((٦- ٢)

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$
$$= 1 / 2 + 1 /4 + 1 / 5 = 0.95 \quad S$$
$$R_T = 1 / 0.95 = 1.053 \ \Omega$$
$$G_T = 0.95 \ S$$

المقاومة الكلية لمقاومات متساوية موصلة على التوازى :

يمكن إيجاد المقاومة الكلية لعدد N من المقاومات المتساوية قيمة كل منها R والموصلة على التوازى كالآتى :

$$1 / R_T = 1 / R + 1 / R + 1 / R + \text{---------} + 1 / R = N (1 / R)$$

أى أن المقاومة الكلية R_T تكون

$$R_T = R / N$$

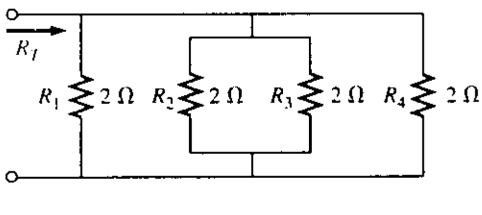
وتكون الموصلية الكلية G_T لعدد N متساو من الموصلية G فى هذه الحالة :

$$G_T = N G$$

مثال (٦- ٢):

للدائرة الموضحة فى شكل (٦- ٣) ، إحسب المقاومة الكلية R_T .

الحل:



شكل (٦- ٣)

كما هو موضح فى شكل (٦- ٣) حيث المقاومات متساوية ، فتحسب R_T كالآتى :

$$R_T = R / N = 2 / 4 = 0.5 \ \Omega$$

<u>قاعدة هامة :</u>

١. إذا وصلت مقاومتين R_1 و R_2 على التوازى فتحسب المقاومة الكلية R_T كما يلى

$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 = (R_1 + R_2)/R_1 R_2$$

أى أن

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (6\text{-}3)$$

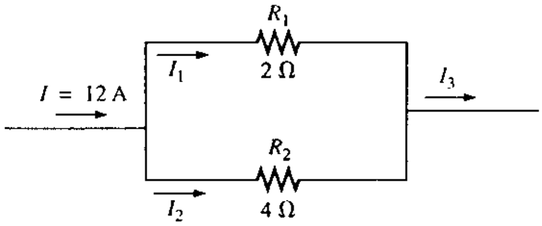
٣. إذا وصلت ثلاث مقاومات R_1 و R_2 و R_3 على التوازى فتحسب المقاومة الكلية R_T كذلك كما يلى:

$$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) \quad (6\text{-}4)$$

<u>مثال (٦- ٣):</u>

احسب المقاومة الكلية R_T للدائرة المبينة فى شكل (٦- ٤) باستخدام المعادلة (6-3).

<u>الحل:</u>



شكل (٦- ٤)

باستخدام المعادلة (6-3) يمكننا حساب R_T كما يلى :

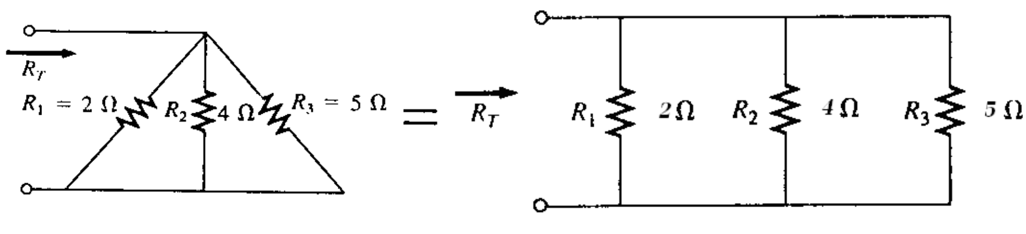
$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (2)(4)/(2+4) = 1.3333 \quad \Omega$$

<u>مثال (٦- ٤) :</u>

أعد حل مثال (٦- ١) باستخدام المعادلة (6-4) .

<u>الحل:</u>

باستخدام المعادلة (6-4) يمكننا حساب R_T كما هو موضح فى شكل(٦- ٥) كالآتى :



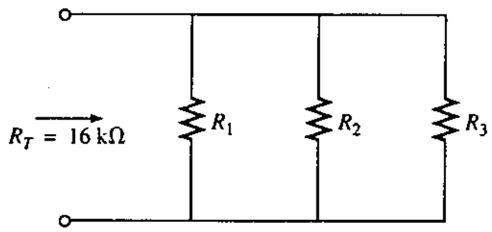
شكل(٦- ٥)

$$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)$$
$$= (2)(4)(5) / [(2)(4) + (2)(5) + (4)(5)] = 40 / 38 = 1.053 \quad \Omega$$

<u>مثال (٦- ٥):</u>

احسب المقاومات R_1 و R_2 و R_3 للدائرة المبينة فى شكل (٦- ٦) وذلك إذا كان $R_2 = 2\ R_1$ و $R_3 = 2\ R_2$ وكانت المقاومة الكلية $R_T = 16\ k\ \Omega$.

<u>الحل:</u>



شكل (٦- ٦)

كما هو موضح فى شكل (٦- ٦) يمكننا أن نحصل على :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$

وحيث إن $R_2 = 2\ R_1$ و $R_3 = 2\ R_2 = 2\ (2\ R_1) = 4\ R_1$ وبالتعويض فى الصورة السابقة عن R_2 و R_3 وكذلك عن قيمة R_T نحصل على :

$$1 / 16 = (1 / R_1) + (1 / 2R_1) + (1 / 4R_1) = 1.75\ (1 / R_1)$$

ومنها نحصل على المقاومة R_1 ، أى أن

$$R_1 = 1.75\ (16) = 28\ \Omega$$

وبالتالى نحصل على المقاومات R_2 و R_3 كما يلى :

$$R_2 = 2\ R_1 = 2\ (28) = 56\ \Omega \quad , \quad R_3 = 4\ R_1 = 4(28) = 112\ \Omega$$

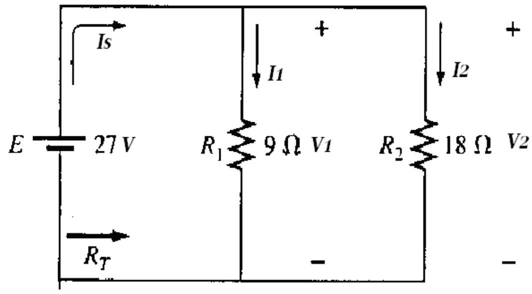
<u>مثال (٦- ٦)</u> :

لدائرة التوازى الموضحة فى شكل (٦- ٧) احسب :

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيار الكلي I_S وكذلك التيارات I_1 و I_2 .

(ب)القدرة المفقودة فى كل مقاومة ، وكذلك قدرة المنبع (البطارية) .

الحل:



شكل (٦- ٧)

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيارات I_s و I_1 و I_2 يمكن حسابها كما يلى :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (9)(18) /(9 + 18) = 162 / 27 = 6 \ \Omega$$
$$I_S = E / RT = 27 / 6 = 4.5 \ A$$
$$I_1 = V1 / R1 = E / R1 = 27 / 9 = 3 \ A$$
$$I_2 = V2 / R2 = E / R2 = 27 / 18 = 1.5 \ A$$

نلاحظ هنا أن التيار $I_S = I_1 + I_2$ ، أى أن $4.5 = 3 + 1.5$ وهذا يعتبر تاكيدا لصحة الحل .

(ب) نوجد القدرة المفقودة فى كل مقاومة ، وقدرة المنبع (البطارية) كالآتى :

$$P_1 = V_1 I_1 = E I_1 = (27)(3) = 81 \ W$$
$$P_2 = V_2 I_2 = E I_2 = (27)(1.5) = 40.5 \ W$$
$$P_S = E I_S = (27)(4.5) = 121.5 \ W$$

نلاحظ هنا أن القدرة $P_S = P_1 + P_2$ ، أى أن $121.5 = 81 + 40.5$.

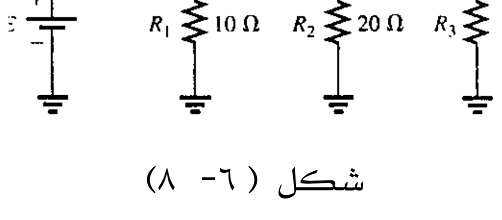
مثال (٦- ٧) :

للدائرة الموضحة فى شكل (٦- ٨) ، إحسب :

(أ) المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S .

(ب)التيار I_2 والقدرة المفقودة فى المقاومة R_2 أى P_2 .

الحل:



شكل (٦- ٨)

(أ)يمكن حساب المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S كما يلى:

$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$
$1 / 4 = 1 / 10 + 1 / 20 + 1 / R_3$
$0.25 = 0.1 + 0.05 + 1 / R3$
$0.25 = 0.15 + 1 / R_3 \quad , 1 / R_3 = 0.1 \quad , \quad R_3 = 10 \ \Omega$
$E = V_1 = I_1 R_1 = (4)(10) = 40 \ V$
$I_T = E / R_T = 40 / 4 = 10 \ A$

(ب)يمكننا حساب التيار I_2 والقدرة المفقودة فى المقاومة R_2 أى P_2 كما يلى :

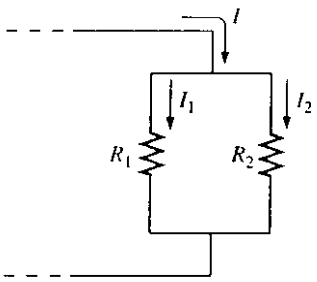
$I_2 = V_2 / R_2 = E / R_T = 40 / 20 = 2 \ A$
$P_2 = I_2^2 R_2 = (2)2 (20) = 80 \ W$

قانون كيرشوف للتيار : (Kirchhoff's Current Law)

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبرى للتيارات الكهربية الداخلة إلى عقدة معينة يساوى مجموع التيارات الخارجة منها . ويقصد بالعقدة فى الدائرة الكهربية النقطة التى تلتقي عندها أو تتفرق منها فروع الدائرة . وكما هو موضح فى شكل (٦- ٩) فإنه طبقا لقانون كيرشوف للتيار يكون :

$I = I_1 + I_2$

حيث التيارI هو التيار الداخل إلى العقدة و التيارت I_1 و I_2 هى التيارت الخارجة منها .

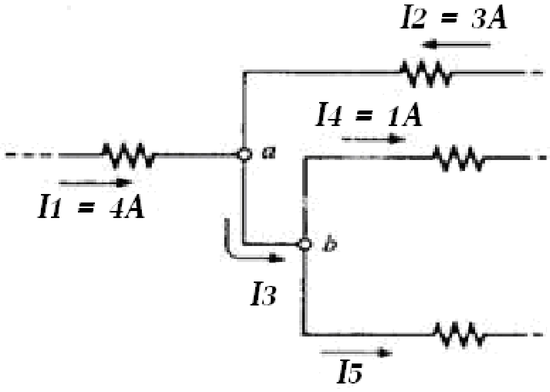


شكل (٦- ٩)

مثال (٦- ٨) :

إحسب التيارات I_3 وI_5 فى شكل (٦- ١٠) وذلك بتطبيق قانون كيرشوف للتيار. .

الحل:



شكل (٦- ١٠)

طبقا لقانون كيرشوف للتيار فإن التيار I_3 يكون :

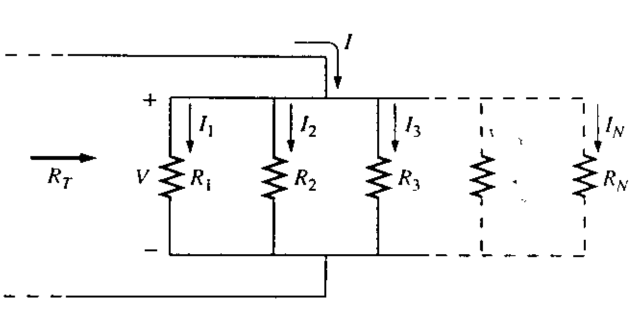
$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 3 = 7 \quad A$$

وكذلك التيار I_5 نحصل عليه طبقا لنفس القانون ، أى أن

$$I_3 = I_4 + I_5$$
$$7 = 1 + I_5$$
$$I_5 = 7 - 1 = 6 \quad A$$

قاعدة توزيع التيار :

نطبق هذه القاعدة وذلك عندما نرغب فى حساب التيار فى أى فرع من فروع دائرة كهربية موصلة على التوازى كما موضح فى شكل (٦- ١١) . فإذا أردنا مثلا إيجاد قيمة التيار I_x المار فى المقاومة R_x ، فإننا نحسب أولا التيار I حيث $I = V / R_T$ ويكون فرق الجهد V عبر المقاومة R_x هو $V = I_x R_x$ (شكل (٦- ١١))، أى أن :



شكل (٦- ١١)

$$I = V / R_T = I_x \ R_x / R_T$$

حيث R_T هى المقاومة الكلية للدائرة ، وبالتالي يكون

$$I_x = (R_T / R_x) I \qquad (6-5)$$

المعادلة السابقة تمثل الصورة العامة لقاعدة توزيع التيار . فمثلا لإيجاد أى تيار وليكن I_1 فطبقا لهذه القاعدة يكون :

$$I_1 = (R_T / R_1) I$$

وهكذا يمكن إيجاد أى تيار فى الدائرة الموضحة فى شكل (7- 9) طبقا لهذه القاعدة . وبالتالي يكون التيار I_2

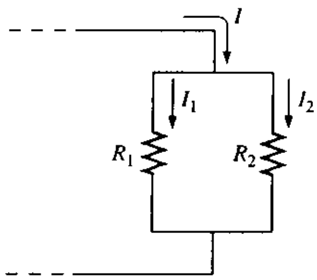
$$I_2 = (R_T / R_2) I$$

وفى حالة خاصة إذا ما كانت الدائرة الكهربية عبارة عن مقاومتين على التوازى كما مبين فى شكل (٦- ١٢) ، فتكون المقاومة الكلية R_T فى هذه الحالة :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$
$$I_1 = (R_T / R_1) I = [(R_1 R_2 / (R_1 + R_2)) /R_1] I$$

أى أن التيار I_1 يكون

$$I_1 = I R_2 / (R_1 + R_2) \qquad (6-6)$$



شكل (٦- ١٢)

وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 ، أى أن

$$I_2 = I R_1 / (R_1 + R_2) \qquad (6-7)$$

<u>مثال (٦- ٩) :</u>

أوجد قيمة التيار I_1 للدائرة المبينة فى شكل (٦- ١٣) .

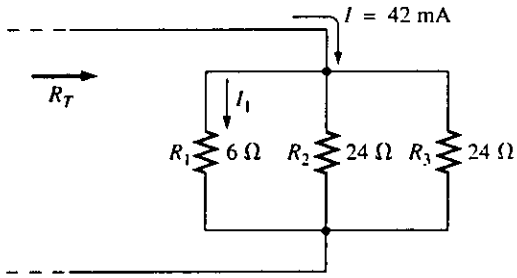
<u>الحل:</u>

$$R_{T1} = 24 /2 = 12 \quad \Omega$$

وبالتالى المقاومة الكلية R_T تكون

$$R_T = R_{T1} R_1 / (R_{T1} + R_1) = (12) (6) / (12 + 6) = 72 / 18 = 4 \quad \Omega$$

وبالتالى طبقا لقاعدة توزيع التيار يكون التيار I_1



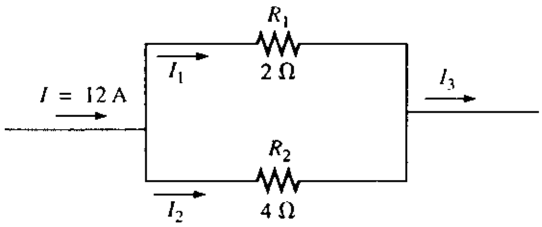
شكل (٦- ١٣)

$$I_1 = (R_T / R_1)\, I = (4 / 6)\,(42) = 28 \quad mA$$

<u>مثال (٦- ١٠) :</u>

أوجد قيمة التيارات I_1 و I_2 و I_3 للدائرة المبينة فى شكل (٦- ١٤) .

<u>الحل:</u>



شكل (٦- ١٤)

باستخدام قاعدة توزيع التيار يكون التيار I_1

$$I_1 = [\, R_2 / (R_1 + R_2)]\, I = [\, (4) / (2 + 4)\,]\,(12) = 8 \quad A$$

وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 طبقا لنفس القاعدة ، أى أن

$$I_2 = [\, R_1 / (R_1 + R_2)]\, I = [\, (2) / (2 + 4)\,]\,(12) = 4 \quad A$$

ويمكن كذلك الحصول على التيار I_2 بتطبيق قانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$$I_2 = I - I_1 = 12 - 8 = 4 \quad A$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار أيضا يمكن حساب التيار I_3 ، أى أن

$$I_3 = I_1 + I_2 = 8 + 4 = 12 \quad A$$

مع ملاحظة أنه يمكن حساب التيار I_3 مباشرة وذلك باعتبار أن التيار الكلى الداخل للمقاومتين R_1 و R_2 يجب أن يكون مساويا للتيار الخارج منهما وذلك طبقا لقانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$$I_3 = I = 12 \quad A$$

مثال (٦- ١١) :

أوجد قيمة المقاومة R_1 للدائرة المبينة فى شكل (٦- ١٥) .

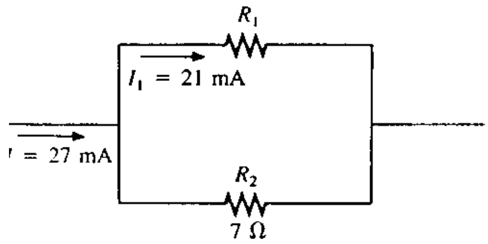
الحل:

بتطبيق قاعدة توزيع التيار للدائرة المبينة فى شكل (٦- ١٥) للتيار I_1 ، أى أن

$$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I$$

أى أن

$$(R_1 + R_2) I_1 = R_2 I$$
$$R_1 I_1 + R_2 I_1 = R_2 I$$



شكل (٦- ١٥)

$$R_1 I_1 = R_2 I - R_2 I_1 = R_2 (I - I_1)$$
$$R_1 = [R_2 (I - I_1)] / I_1$$

وبالتعويض عن قيم I و I_1 و R_2 فى العلاقة السابقة نحصل على المقاومة R_1 ، أى

$$R_1 =[R_2 (I - I_1)] / I_1 =[(7) (27 - 21)] / (21) = (7) (6) / (21) = 2 \quad \Omega$$

حل آخر :

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار يمكن الحصول على التيار I_2 ، أى أن

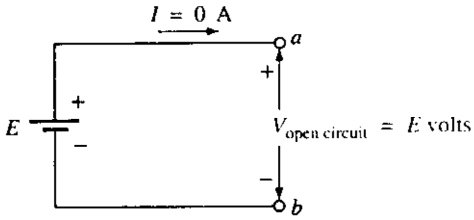
$$I_2 = I - I_1 = 27 - 21 = 6 \text{ mA}$$

وبالتالى يمكن حساب فرقى الجهد V_2 و V_1 وكذلك المقاومة R_1 كما يلى :

$$V_2 = I_2 R_2 = (6) (7) = 42 \quad \text{mV}$$
$$V_1 = I_1 R_1 = V_2 = 42 \text{ mV}$$
$$R_1 = V_1 / I_1 = (42 \text{ mV}) / (21 \text{ mA}) = 2 \quad \Omega$$

الدوائر المفتوحة ودوائر القصر :(Open and Short Circuits)

الدائرة الكهربية المفتوحة يكون لها فرق جهد بين طرفيها المفتوحين ، بينما التيار يكون دائما مساويا للصفر بين هذين الطرفين المفتوحين . ويبين شكل (٦- ١٦) دائرة كهربية مفتوحة عند الطرفين a و b بينما يكون فرق الجهد بين طرفي الدائرة: $V_{ab} = E$ والتيار $I = 0$.



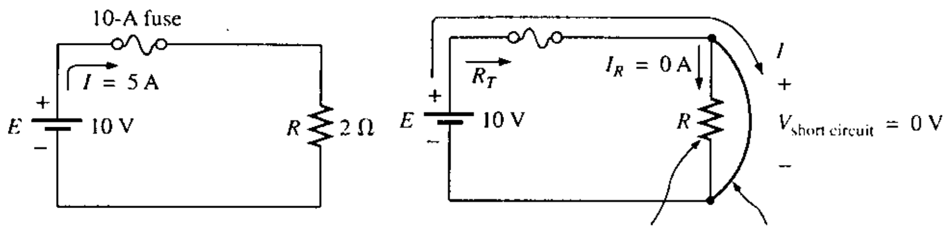
شكل (٦- ١٦)

أما بالنسبة لدائرة القصر فيكون فرق الجهد بين الطرفين المقصورين دائما مساويا للصفر بينما يمر بين هذين الطرفين تيار كهربى. والدائرة الموضحة فى شكل(٦- ١٧) تبين أن القصر حدث بين طرفي المقاومة R ، وبالتالى يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة بعد حدوث القصر هو

$$V = I\,R = (I)\,(0) = 0 \quad V$$

ويكون التيار بعد حدوث القصر (شكل(٦- ١٧)) بين طرفي المقاومة R هو

$$I = E / R = E / 0 \rightarrow \infty \quad A$$

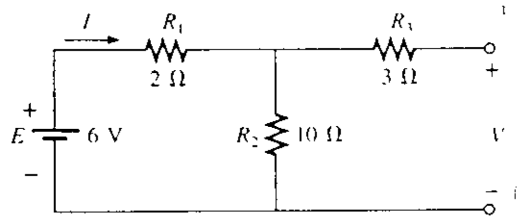


شكل(٦- ١٧)

مثال (٦- ١٢) :

إحسب قيمة التيار I وفرق الجهد V للدائرة المبينة فى شكل (٦- ١٨) ، ثم أعد حساب التيار I وفرق الجهد V بعد حدوث قصر بين طرفى المقاومة R_2 .

الحل:

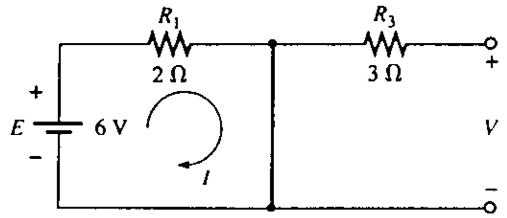


شكل (٦- ١٨)

حيث إن الدائرة مفتوحة عند الطرفين فيكون التيار الكلي I هو التيار المار فى المقاومتين R_1 و R_2 فقط حيث إن التيار المار فى المقاومة R_3 يكون مساويا للصفر . أى أن

$$R_T = R_1 + R_2 = 2 + 10 = 12 \quad \Omega$$
$$I = E / R_T = 6 / 12 = 0.5 \quad A$$
$$V = I R_2 = (0.5)(10) = 5 \quad V$$

أما بعد حدوث القصر بين طرفى المقاومة R_2 فتكون المقاومة $R_T=R_1$ كما هو موضح فى شكل(٦- ١٩) وبالتالى يكون التيار I هو



شكل(٦- ١٩)

$$I = E / R_T = E / R_1 = 6 / 2 = 3 \quad A$$

أما فرق الجهد V فيكون مساويا للصفر ، أى

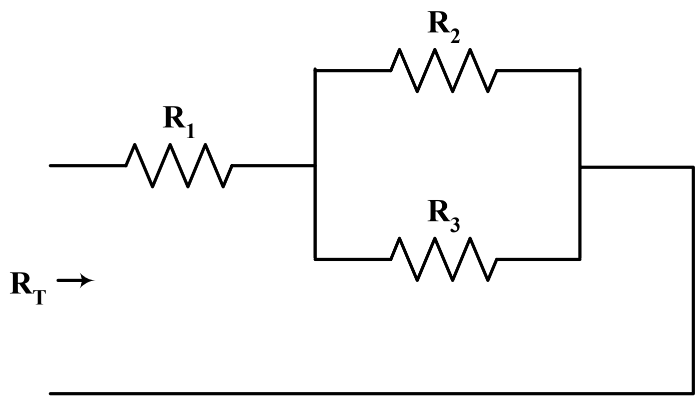
$$V = I R_2 = (I)(0) = 0 \quad V$$

التوصيل المركب

و التوصيل على شكل نجمة أو دلتا

التوصيل توالي – توازي:

هذا النوع من الدوائر يتكون من دوائر التوالي والتوازي معا كما هو موضح في شكل (٧- ١) وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الكلية R_T لهذه الدائرة كما يلي:



شكل (٧- ١)

$$R_T = R_S + R_P$$

حيث المقاومة R_S هي مجموع المقاومات الموصلة على التوالي ، والمقاومة R_P هي المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة علي التوازي. وبالتالي يكون حساب هذه المقاومات في شكل (٧- ١) كالتالي:

$$R_S = R_1 \quad , \quad R_P = (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

لذلك تكون المقاومة الكلية لهذه الدائرة هي :

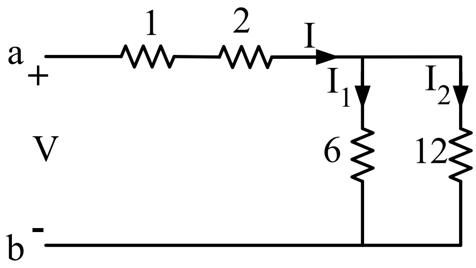
$$R_T = R_S + R_P = R_1 + (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

وسوف نقوم بحل أمثلة توضيحية لهذا النوع من الدوائر الكهربائية.

مثال (٧- ١):

احسب فرق الجهد الذي يجب أن يوصل عبر الطرفين ab بحيث يكون فرق الجهد عبر المقاومة $2\ \Omega$ هو $10\ V$ كما موضح فى شكل (٨- ٢).

الحل:



شكل (٧- ٢).

التيار الداخل إلى الدائرة الموضحة فى شكل (٧- ٢) يكون

$$I = \frac{10}{2} = 5A$$

$$R_T = \frac{6\times 12}{6+12} = 4\Omega$$

$$R_T = 1+2+4 = 7\Omega$$

$$V = I R_T = 7\times 5 = 35\ V$$

مثال(٧- ٢):

فى مثال (٧- ١)احسب فرق الجهد عبر المقاومة $6\ \Omega$ ومن ثم احسب التيارين I_1 و I_2 .

الحل:

$$V_{6\Omega} = V - V_{2\Omega} - V_{1\Omega} = 35 - 10 - 5 = 20V$$

$$I_1 = \frac{20}{6} = 3.333\ A$$

$$I_2 = \frac{20}{12} = \frac{10}{6} A$$

مثال (٧- ٣) :

نريد تشغيل أربعة مصابيح 60W و 110V من منبع 230V حدد قيمة المقاومة المتصلة على التوالي مع الخط حتى لا يزيد الجهد الداخلي عبر المصابيح عن 110V .

الحل:

القدرة الإجمالية المسحوبة من المنبع في الدائرة المبينة في شكل (٧- ٣) تكون

$$P = 4 \times 60 = 240 \quad W$$

ويكون تيار الدخل

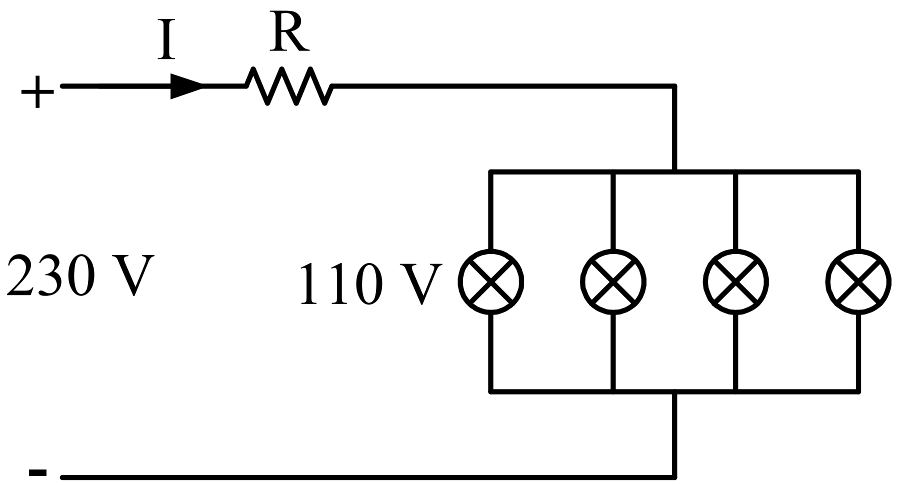
$$I = P / V = 240 / 110 = 2.1818 \quad A$$

وفرق الجهد عبر المقاومة R المتصلة على التوالي يكون

$$V_R = 230 - 110 = 120 \ V$$

وبالتالي تصبح المقاومة R هى

$$R = V_R / I = 120 / 2.1818 = 55 \quad \Omega$$

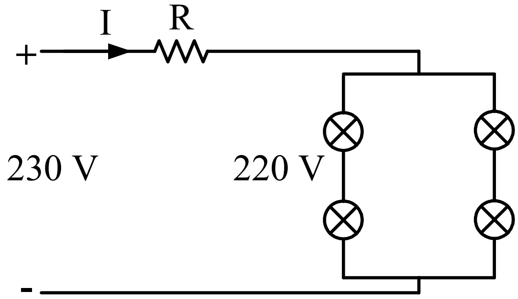


شكل (٧- ٣)

مثال (٧- ٤) :

ثمة طريقة بديلة لتشغيل مصابيح مثال ((٧- ٣) بتوصيلها كما في شكل (٧- ٤) مع مقاومة على التوإلي احسب قيمة المقاومة التى على التوالي وحدد أي الطريقتين أفضل مع تعليل ذلك .

<u>الحل:</u>



شكل(٧- ٤)

في هذه الحالة

$$I = \frac{P}{V_L} = \frac{240}{220} = 1.0909A$$

$$V_R = 230 - 220 = 10V = RI$$

وهكذا نحصل على R

$$R = \frac{10}{1.0909} = 9.167\Omega$$

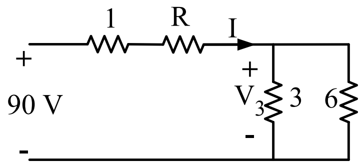
القدرة المفقودة (I^2R) في طريقة مثال (٧- ٣) هي ($P_{loss} = 120^2/55 = 261.82\ W$) والقدرة المفقودة في الطريقة التي يعتمدها المثال الحالي هي($P_{loss} = 10^2/9.167 = 10.9W$) .

وهكذا تكون الطريقة الثانية أكثر فاعلية ولكن إن احترق مصباح فلن يعمل إلا مصباحان فقط.

<u>مثال (٧- ٥) :</u>

احسب المقاومة R فى الدائرة المبينة في شكل (٧- ٥) بحيث تكون القدرة المفقودة في المقاومة $3\ \Omega$ هى 300 W .

<u>الحل:</u>



شكل (٧- ٥)

$$P_{3\Omega} = \frac{V_3^{\ 2}}{3} = 300W$$

أى أن

$$V_3 = 30V$$

$$I_{3\Omega} = \frac{V_3}{3} = \frac{30}{3} = 10A$$

أو

$$I_{6\Omega} = \frac{V_3}{6} = \frac{30}{6} = 5A$$

$$I = 10 + 5 = 15A = \frac{V}{1 + R + (6\times3)/(6+3)} = \frac{V}{3+R}$$

وحيث إن

$$V = 45 + 15R = 90 \ \ V$$

لذلك فإن

$$R = \frac{90-45}{15} = 3\Omega$$

مثال (٧- ٦) :

احسب القدرة التي تمتصها كل مقاومة في مثال (٧- ٥) و أثبت أن القدرة الإجمالية التي يتم الحصول عليها تكون مماثلة لتلك التي يزودها المنبع.

الحل:

القدرة الإجمالية الممتصة فى المقاومات هى

$$P_{loss} = (30^2/6) + (30^2/3) + 3\times15^2 + 1\times15^2 = 1350 \quad W$$

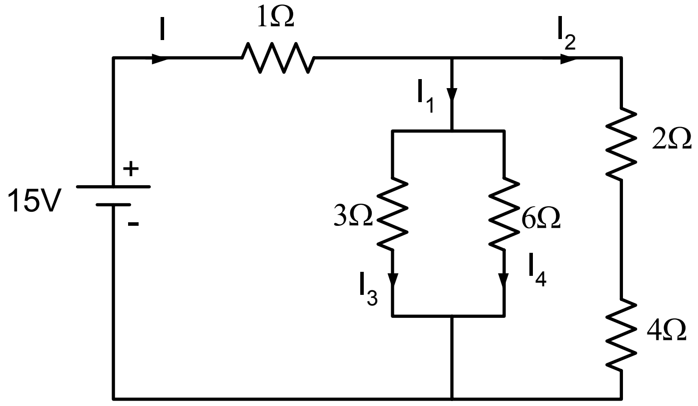
القدرة التي يزودها المنبع

$$P = 15 \text{ x } 90 = 1350 \quad W$$

وواضح أن القدرة التى يزودها المنبع تكون مماثلة للقدرة الممتصة فى المقاومات .

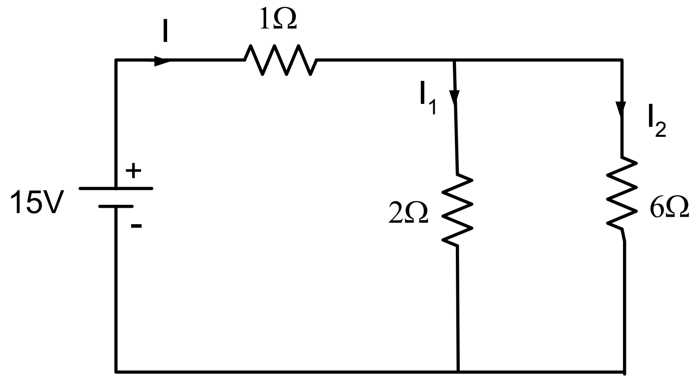
<u>مثال(٧- ٧)</u> :

إحسب التيار المسحوب من البطارية 15V في الدائرة المبينة في شكل (٧- ٦أ)



شكل (٧- ٦أ)

سنقوم أولاً باختزال الدائرة إلى مقاومة مكافئة واحدة وذلك كما هو موضح في شكل (٧- ٦ب)، ومن شكل (٧- ٦أ) نحصل على المقاومة الكلية R_T والتيار I كما يلي :



شكل (٧- ٦ب)

$$R_T = 1 + \frac{(2)\ (6)}{2+6} = 1 + (3/2) = 5/2\ \Omega$$

ويكون التيار I هو

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{15}{5/2} = 6A$$

مثال(٧-٨):

إحسب القدرة المفقودة فى المقاومة $2\ \Omega$ للدائرة الموضحة فى شكل (٧- ٦أ) في مثال (٧- ٧)

الحل:

من مثال (٧- ٧) لدينا التيار($I = 6A$) وعند تطبيق قاعدة تقسيم التيار على هذه الدائرة المبينة في شكل (٧- ٦ب) نحصل على

$$I_2 = [2/(2+6)]6 = 1.5A$$

وبالتالى تكون القدرة المفقودة فى المقاومة $2\ \Omega$ هى :

$$P_{2\Omega} = I_2^2(2) = (1.5)^2 2 = 4.5W$$

مثال (٧- ٩):

إحسب قيمة القدرات التي تمتصها المقاومات الموضحة في شكل (٧- ٦أ) في مثال (٧- ٧) ثم أثبت أن مجموع هذه القدرات يساوي القدرة المسحوبة من البطارية.

الحل:

من شكل (٧- ٦ب) في مثال (٧- ٧) لدينا التيار

$$I_1 = 6\,[\,6/(\,2+6\,)\,] = 4.5 \quad A$$

ومن شكل (٧- ٦أ) في مثال (٧- ٧) نحصل على

$$I_3 = \frac{6}{3+6}(4.5) = 3A$$

$$I_4 = \frac{3}{3+6}(4.5) = 1.5A$$

ومن مثال (٧- ٨) لدينا التيار ($I_2 = 1.5\ A$) وحيث إن القدرة المفقودة فى المقاومة هى

$$P = I^2 R$$

ولذلك فإن

$$P_{3\Omega} = (3)^2 3 = 27W \qquad P_{2\Omega} = (1.5)^2 2 = 4.5W \qquad P_{1\Omega} = (6)^2 1 = 36W$$

$$P_{6\Omega} = (1.5)^2 6 = 13.5W \qquad P_{4\Omega} = (1.5)^2 4 = 9W$$

وبالتالي تكون القدرة الكلية P_T هي :

$$P_T = 36 + 4.5 + 27 + 9 + 13.5 = 90 \quad W$$

تدقيق:

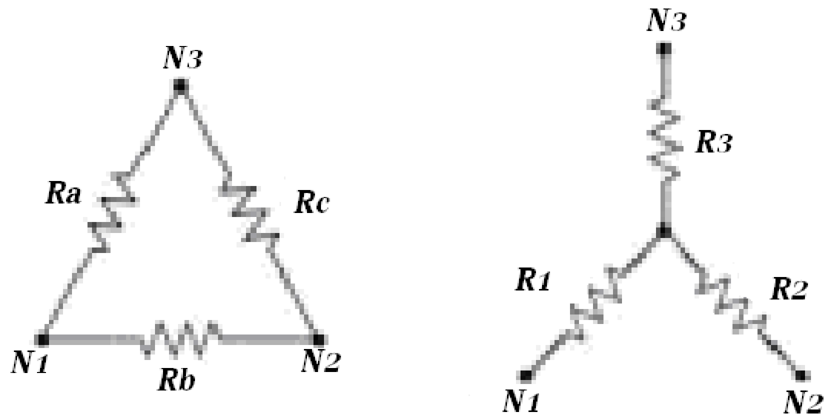
$P_{battery} = V\,I = 15 \times 6 = 90\ W = P_T$

حيث $P_{battery}$ هي القدرة المسحوبة من البطارية.

الربط النجمي و ربط دلتا ($Y - \Delta$):

يحدث كثيرا أن ترتبط ثلاث مقاومات ، لا على التوازي و لا على التوالي بل على شكل نجمي Y و يشار إليه أيضا بالربط T أو أن ترتبط على شكل دلتا ويشار إليه أيضا بالربط π. و إذا أريد تحليل دائرة تحتوي على ربط من أحد النوعين بدون استخدام التحليل العقدي أو الحلقي فقد يكون من المفضل إجراء تحويل في الربط من نوع الى مكافئه من النوع الأخر كأن يتم تحويل ربط Y إلى ربط Δ أو العكس. و يمكن إيجاد المكافئ لأي من الرابطين بدلالة الأخر عن طريق الموازنة بين قيم المقاومة بين أي طرفين من الأطراف الثلاثة و مرادفتها في الربط الأخر و تحت نفس الشروط.

وعند الموازنة بين الربط Y و Δ في الشكل(٧- ٧) فإن تكافؤ الربطين يتطلب أن تكون المقاومة بين أي طرفين من الربط Δ مساوية للمقاومة بين نفس الطرفين للربط Y فالمقاومة الكلية بين N3 وN1 في الربط Δ هي:



شكل (٧- ٧)

تحويل ربط Y إلى ربط Δ

$$R_a = \frac{R_3R_2 + R_2R_1 + R_3R_1}{R_2} \qquad (7\text{-}1)$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}$$

$$R_C=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_1}$$

تحويل ربط Δ إلى ربط Y

$$R_1=\frac{R_aR_b}{R_a+R_b+R_c}$$

$$R_2=\frac{R_bR_c}{R_a+R_b+R_c} \qquad (7\text{-}2)$$

$$R_3=\frac{R_aR_c}{R_a+R_b+R_c}$$

<u>مثال (٧- ١٠):</u>

لتكن المقاومات R_1،R_3 وR_2 الموضحة في الشكل (٧- ٧) قيمتها 34 Ω, 12 Ω, 1 Ω على التوالي (الحالة الأولى جدول (٧- ١)) .تم تحويل ربط Y إلى ربط Δ .

احسب قيمة المقاومات R_a, R_c, R_b للحالات الست.

<u>الحل:</u>

بتطبيق القوانين (7-1) نحصل على قيم المقاومات للحالات الست جدول (٧- ١).

الجدول (٧- ١)

	R_3 [Ω]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_b [Ω]?	R_c[Ω]?	R_c[Ω]?
1	1	12	34	13.353	37.833	454
2	18.5	45.36	16.78	113.87	42.124	103.283
3	1264	2345	657	8121	2275	4221
4	0.354	1.216	18.402	1.593	24.113	82.829
5	87.5	132	220	272	453.333	683.886
6	13546	12868	66453	29078	147864	140463

مثال (٧- ١١)

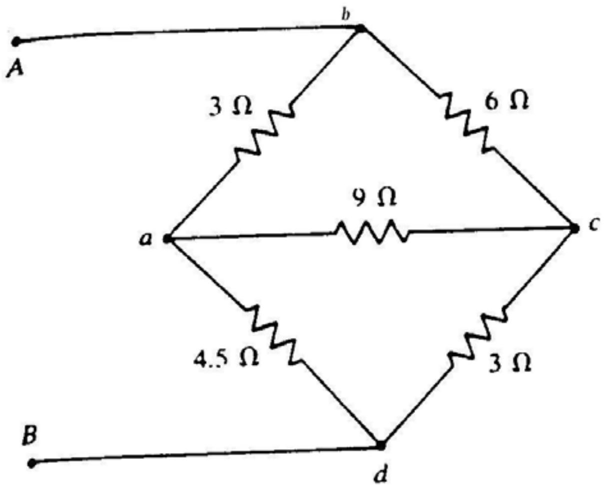
لتكن المقاومات R_A، R_C و R_B الموضحة في الشكل (٧- ٧) قيمتها 16 Ω, 27 Ω, 76 Ω على التوالي (الحالة الأولى جدول (٧- ١)) .تم تحويل ربط Δ إلى ربط Y.
احسب قيمة المقاومات R_2, R_1, R_3 للحالات الست.
بتطبيق القوانين (7-2) نحصل على قيم المقاومات للحالات الخمس جدول (٧- ١).

الحل:

	R_A [Ω]	R_C [Ω]	R_B [Ω]	R_3 [Ω]?	R_1 [Ω]?	R_2 [Ω]?
1	16	27	76	3.63	10.218	17.244
2	158	545	227	92.591	38.566	133.027
3	1320	725	38	459.434	24.081	13.226
4	0.76	1.45	3.12	0.206754	0.444878	0.84878
5	12000	45625	27210	6454	3849	14634

مثال (٧- ١٢):

في شبكة المقاومات المبينة بشكل (٧- ٧ أ). احسب قيمة المقاومة المكافئة عند الطرفين AB .



شكل (٧- ٧أ).

الحل:

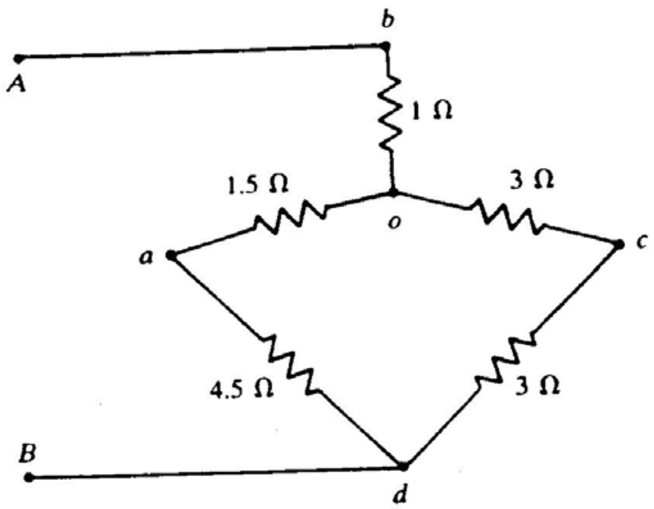
نحول شبكة الدلتا شكل (٧- ٧ب) إلى شبكة نجمية باستخدام المعادلة (٧- ٢):

$R_{ao} = (9)(3) /(3+6+9) = 1.5\Omega$

$R_{bo} = (6)(3)/(3+6+9) = 1\Omega$

$R_{co} = (6)(9) /(3+6+9) = 3\Omega$

و منها نحصل على الدائرة المكافئة شكل (٧- ٧ ب) التي تحتوي على مجموعات مقاومات موصلة توالي/ توازي ، و منها نجد أن:



شكل (٧- ٧ب)

$R_{ad} = (1.5 + 4.5) (3+3)/(1.5 +4.5+3+3) = 3\Omega$

و لذلك :

$R_{ab} = R_{bo} +R_{od} = 1+ 3 = 4\Omega$

تمارين على الوحدة الثالثة:

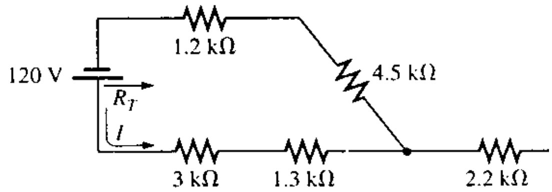
١. موصل نحاسي طوله 4 m وقطر مقطعه الدائري المستعرض 0.4 mm ، إحسب مقاومته عند درجة حرارة 20° C إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند 20° C تساوى 1.72×10^{-8} Ω.m

٢. موصل مقاومته 28 Ω تزداد مقاومته بمقدار 12 % عندما تزداد درجة حرارته من 18 إلى 20°C، إحسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطه تبلغ 20°C عندما تكون مقاومته 35Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتا.

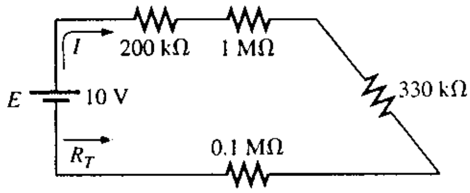
٣. إحسب التيار المار فى المقاومة 4 Ω إذا كان فرق الجهد بين طرفيها 20 V.

٤. إحسب كفاءة المحرك الكهربى إذا كانت القدرة الخارجة منه 850 W وكان التيار المغذى للمحرك 8 A عند 120 V .

٥. احسب المقاومة الكلية والتيار الكلي من الدوائر الكهربية التالية والموضحة فى شكل (١) .



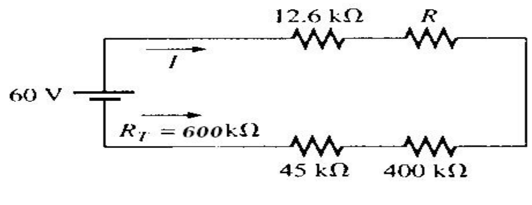
(ب)



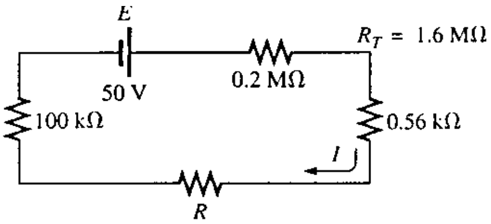
(أ)

شكل (١)

٦. إذا علمت المقاومة الكلية للدوائر الموضحة فى شكل (٢) ، احسب المقاومات المجهولة وكذلك التيار I لكل من هذه الد وائر .



(أ)

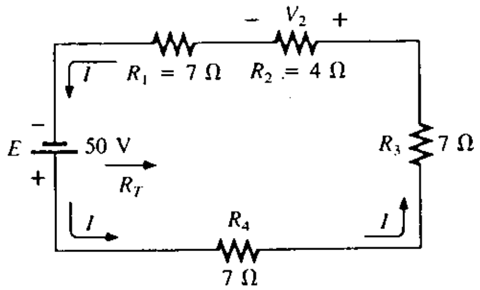


شكل (٢)

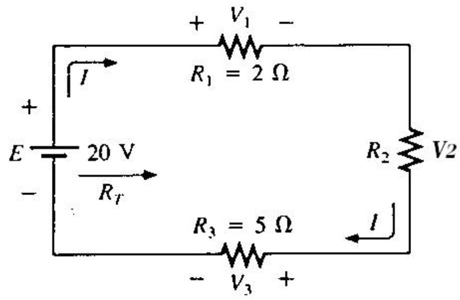
٧. للدوائر الكهربية الموضحة فى شكل (٣) احسب :

(أ)المقاومة الكلية والتيار وفرق الجهد عبر كل مقاومة.

(ب)القدرة المفقودة فى كل مقاومة وكذلك قدرة البطارية وأثبت أن القدرة المفقودة فى المقاومات تساوي قدرة المنبع (البطارية) .



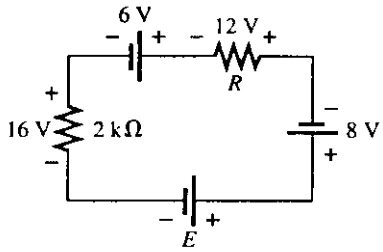
(أ)



(ب)

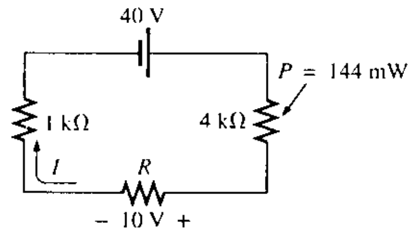
شكل (٣)

٨. احسب المقاومة R وجهد البطارية E للدائرة الموضحة فى شكل (٤) .



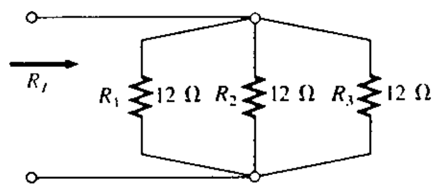
شكل (٤)

٩. احسب للدائرة الموضحة فى شكل (٥) المقاومة R و فرق الجهد عبر كل مقاومة .

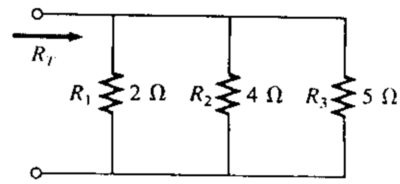


شكل (٥)

١٠ . احسب المقاومة الكلية للدوائر الموضحة فى شكل(٦)



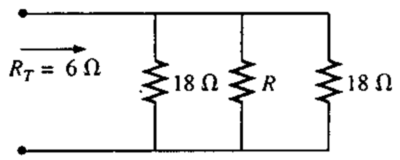
(أ)



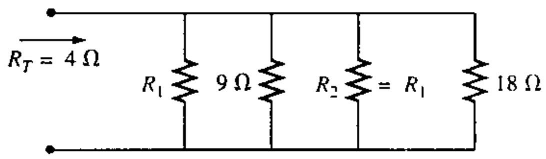
(ب)

شكل (٦)

١١. احسب المقاومات المجهولة للدوائر الموضحة فى شكل (٧) .



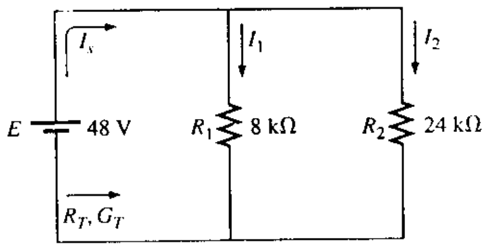
(أ)



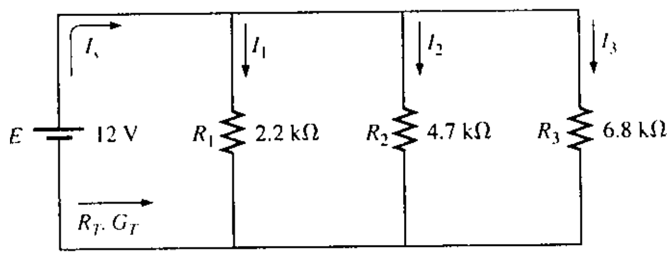
(ب)

شكل(٧)

١٢. احسب المقاومة الكلية والتيار I_S وكذلك التيارات فى كل فرع بالإضافة إلى القدرة المفقودة فى كل مقاومة وذلك للدوائر الموضحة فى شكل (٨) .



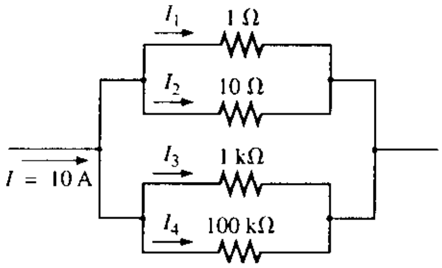
(أ)



(ب)

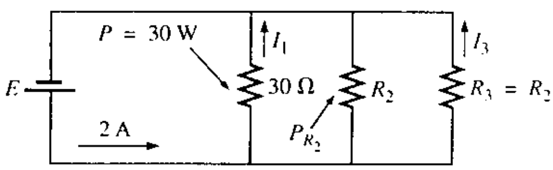
شكل(٨)

١٣. احسب المقاومة الكلية للدائرة المبينة فى شكل (٩) واحسب كذلك التيارات المارة فى كل مقاومة.



شكل (٩)

١٤. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٠) .



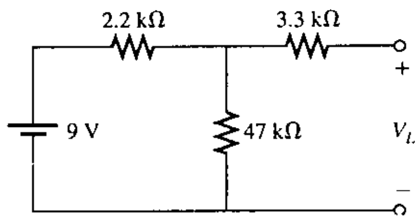
شكل (١٠)

١٥. للدائرة الموضحة فى شكل (١١) احسب :

أ- فرق الجهد V_L بين طرفى الدائرة المفتوحة .

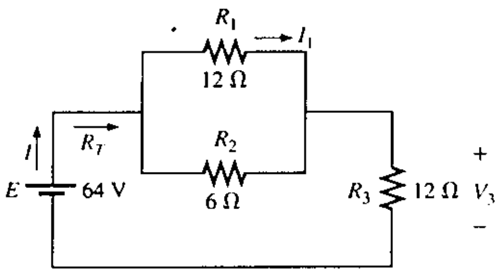
ب- إذا تم عمل قصر بين طرفى المقاومة 2.2 K Ω احسب قيمة V_L .

ج- إذا تم عمل قصر بين طرفى V_L احسب تيار القصر فى هذه الحالة .



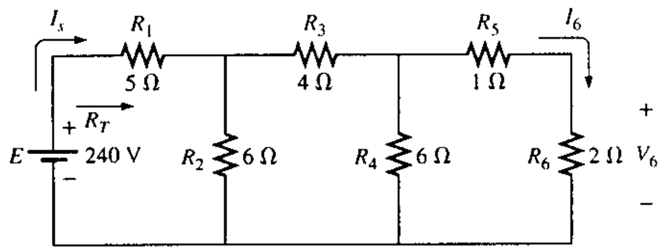
شكل(١١)

١٦. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٢) .



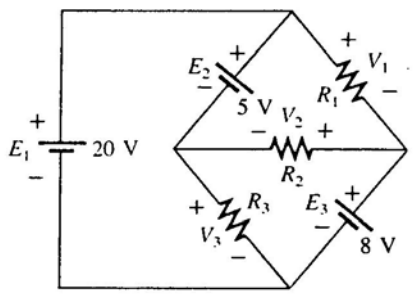
شكل (١٢)

١٧. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٣) .



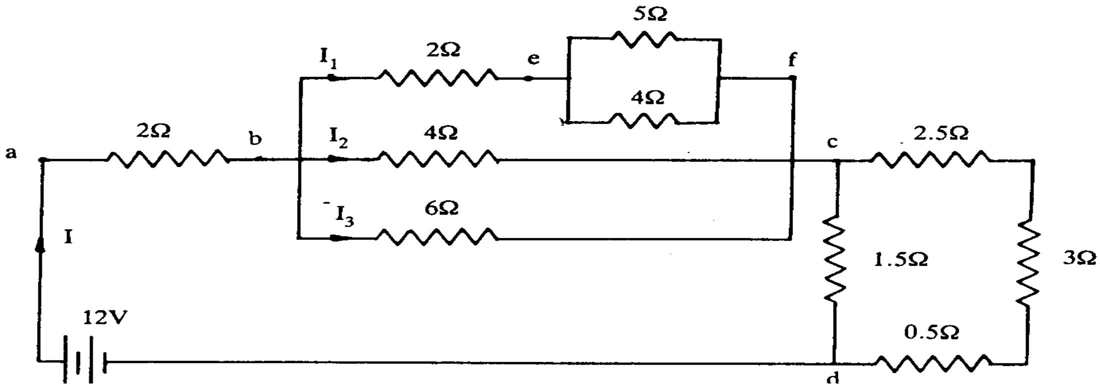
شكل (١٣)

١٨. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٤) .



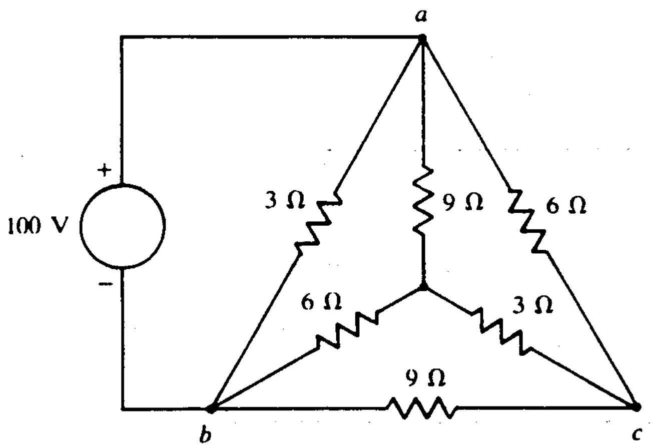
شكل (١٤)

١٩- لتكن الدائرة الممثلة في شكل (١٤) احسب التيار الكلي I وكذلك التيارات I_1, I_2, I_3 .



شكل (١٥)

٢٠- أحسب القدرة المغذاة إلى الشبكة شكل (١٦).



شكل (١٦)

دوائر كهربائية – ١

تحليل الدوائر الكهربائية

الجدارة: معرفة وفهم مجموعة من القوانين و النظاريات و الطرق من حيث تطبيقها في تحليل الدوائر الكهربائية.

الأهداف:

عند اتمام دراسة هذه الوحدة يكون لدى المتدرب القدرة على معرفة وفهم :

(١). كيفية تحديد تيارات الفروع التي تتكون منها الدائرة.

(٢). كيفية حساب الجهود عبر عناصر كل فرع.

(٣). كيفية استخدام قانوني كيرشوف عند كل عقدة من عقد الدائرة و لكل حلقة من الحلقات التي تتكون منها الدائرة.

(٤). معرفة الدوائر الكهربائية و تحليلها و مسارات التيار داخلها.

(٥). طرق مبسطة لتحليل دوائر التيار المستمر.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪ .

الوقت المتوقع للتدريب: ٨ ساعات

تحليل الدوائر الكهربائية

مقدمة :

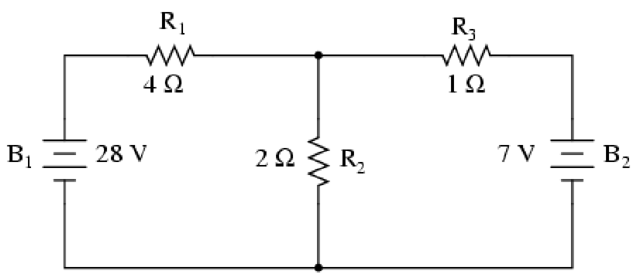
من المعتاد أن تحتوي الدائرة الكهربائية على عدد كبير من العناصر الكهربئية من مقاومات و مكثفات و ملفات و مصادر للفولتية و التيار و عناصر كهربائية أخرى يمكن تمثيلها بالعناصر الأساس و يمكن تحليل هذه الدائرة بالاعتماد على قانون أوم و قانوني كيرشوف إلا أن الاقتصار على هذه القوانين وحدها قد يؤدي الى خطوات حل مطولة ، وهناك نظريات و أساليب مستمدة من القوانين الأساسية يمكن استخدامها لتسهيل التحليل واختصاره. و سنعرض عددا من هذه النظريات و الأساليب الرئيسة بإيجاز ، و نعتمد على طائفة من الأمثلة البسيطة لتوضيحها.

إن الأسلوب المعتمد في تحليل الدائرة الكهربائية يعتمد على تحديد تيارات الفروع التي تتكون منها الدائرة ، و حساب الجهود عبر عناصر كل فرع ، ومن ثم استخدام قانوني كيرشوف عند كل عقدة من عقد الدائرة و لكل حلقة من الحلقات التي تتكون منها الدائرة فتتكون عدد من المعادلات الجبرية بعدد العقد و عدد الحلقات التي يمكن من خلال حلها إيجاد المجاهيل.

طريقة تيار المسار المغلق (التحليل الحلقي)

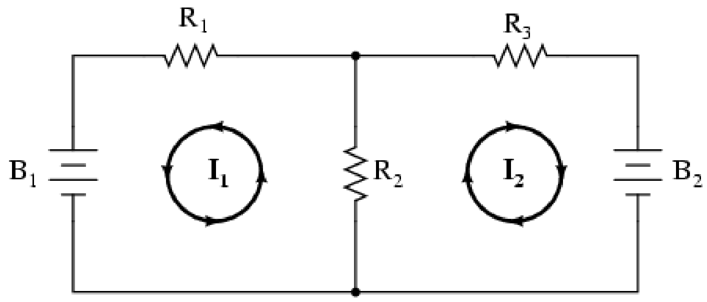
<u>مثال (٨- ١):</u>

احسب التيارات الحلقية I_1 و I_2 و التيارات الفرعية عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 للدائرة الموضحة في الشكل (٨- ١).

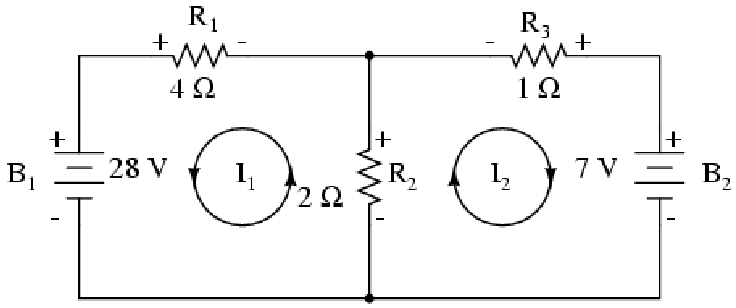


شكل (٨- ١)

إن أسلوب التحليل الحلقي يعتمد على قانون كيرشوف للجهد فبدلا من افتراض وجود تيارات فرعية فإننا نفترض وجود تيارات حلقية في كل حلقة كما يتضح في الشكل(٨- ١)، فنأخذ التيارات I 1 وI 2 في الحلقتين و نعدها باتجاه عشوائي شكل (٨- ٢).



شكل (٨- ٢)



شكل (٨- ٣)

فيما يخص الحلقة الأولى و حسب قانون كيرشوف للجهد يكون مجموع الجهود صفرا أي إننا إذا سرنا باتجاه عكس عقارب الساعة شكل (٨- ٣) نحصل على المعادلة التالية:

$$- 28 + 2(I_1 + I_2) + 4I_1 = 0$$

$$- 28 + 2I_1 + 2I_2 + 4I_1 = 0$$

$$\mathbf{- 28 + 6I_1 + 2I_2 = 0}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد في الحلقة الثانية شكل(٨- ٣) نحصل على المعادلة التالية:

$$- 2(I_1 + I_2) + 7 - 1I_2 = 0$$

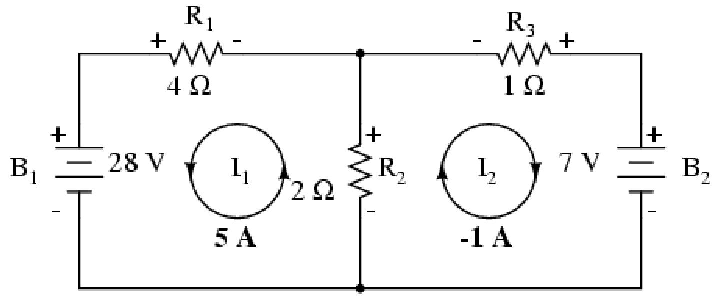
$$- 2I_1 - 3I_2 + 7 = 0$$

$-28 + 6I_1 + 2I_2 = 0 \qquad 6I_1 + 2I_2 = 28$

$-2I_1 - 3I_2 + 7 = 0 \qquad -2I_1 - 3I_2 = -7$

ومن المعادلتين المبينيتين أعلاه يمكن إيجاد تيارات الحلقتين شكل (٨- ٤):

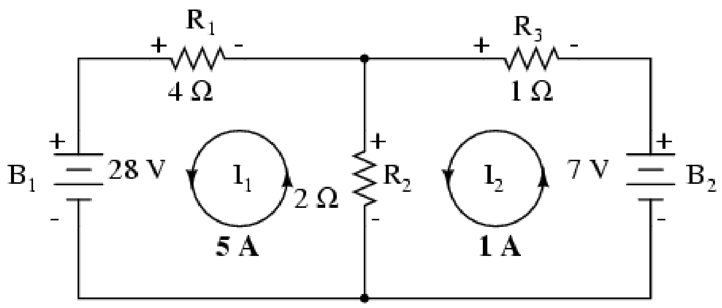
$I_1 = 5\ A$
$I_2 = -1\ A$



شكل (٨- ٤)

هذا يعني أن الإتجاه المفترض سابقا غير صحيح و الصواب هو اتجاه عكس عقارب الساعة

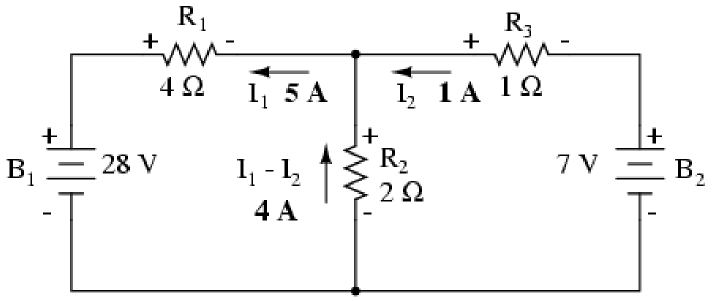
$I_2 = -1A$ شكل (٨- ٥).



شكل (٨- ٥)

و بحل المعادلات المبينة فى أعلاه يمكننا إيجاد التيار

$I_1 - I_2$ فى المقاومة $2\ \Omega$ أوم شكل (٨- ٦).



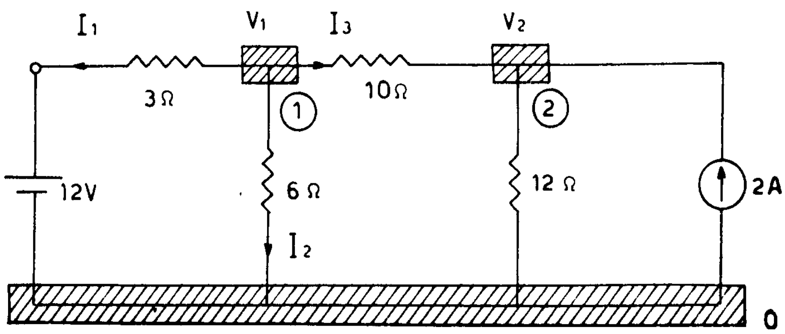
شكل (٨- ٦)

التحليل العقدي:

<u>مثال (٨- ٢)</u>

يعتمد التحليل العقدي على قانون كيرشوف للتيار فإذا نظرنا إلى الدائرة شكل (٨- ٧) وجدنا فيها ثلاث عقد هي العقدة 1 و العقدة 2 ونشير إلى العقدة الثالثة التي يلتقي عندها أكبر عدد من الفروع بالعقدة 0 فإذا افترضنا أن جهد العقدة 1 هو V1 بالنسبة للعقدة 0 و جهد العقدة 2 هو V2 بالنسبة للعقدة 0 و إن V1و V2 أعلى من العقدة 0 فإنه و بالاستناد إلى الشكل تكون التيارات المتفرعة من العقد بحسب قانون كيرشوف كما الآتي:

للعقدة 1



شكل (٨- ٧)

$$[(V_1 - 12)/3] + [(V_1 - 0)/6] + [(V_1 - V_2)/10] = 0$$

ذلك أن كل كمية تمثل الجهد مقسوماً على المقاومة لكل فرع من الفروع أي إنها تيار الفرع و للعقدة 2:

$$[(V_2 - V_1)/ 10 + [(V_2 - 0)/12] -2 =0$$

و بحل هاتين المعادلتين يمكن إيجاد V_1 و V_2 و من ثم إيجاد تيار المقاومة ٦ أوم حيث يساوي:

$$I_2 = (V_1 - 0)/6$$

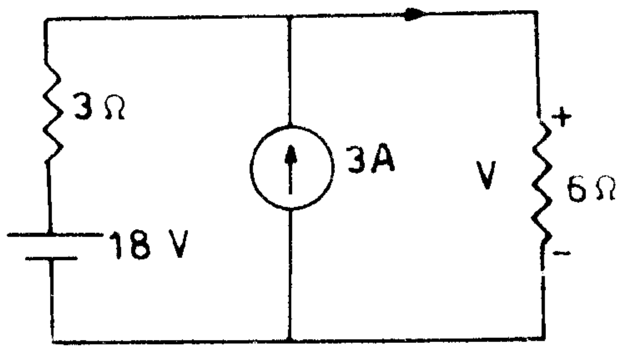
لقد حاولنا من خلال حل أمثلة يسيطة لتوضيح أسلوب التحليل الحلقي و التحليل العقدي إلا أن المزايا الفعلية للطريقتين لاتظهر إلاعند التعامل مع دوائر معقدة بعض الشيء.

نظرية التراكب:

تنص هذه النظرية على أنه في حالة تعدد المصادر في دائرة، فإن التيار في أي عنصر في الدائرة أو الفولتية عبره يساوي المجموع الجبري للتيارات و الفولتيات الناجمة عن كل مصدر على حدة.

مثال (٨- ٣) :

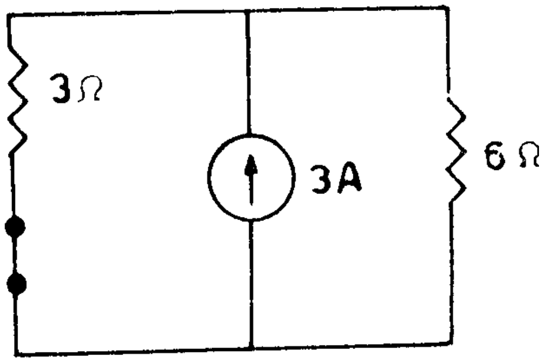
احسب التيار و الفولتية عبر المقاومة ٦ أوم في الدائرة الموضحة في الشكل (٨- ٨) باستخدام نظرية التراكب.



شكل (٨- ٨)

الحل :

نأخذ كل مصدر على حده و عندئذ نستعيض عن المصادر غير المستخدمة بمقاومتها الداخلية و في الحالات المثالية، عندما لا يكون هنالك ذكر للمقاومات الداخلية تعد مصادر الفولتية دائرة قصيرة و مصادر التيار دائرة مفتوحة. لنأخذ مصدر التيار أولا و نهمل مصدر الفولتية. فتصبح الدائرة كما في الشكل (٨- ٨ أ).



شكل(٨- ٨أ)

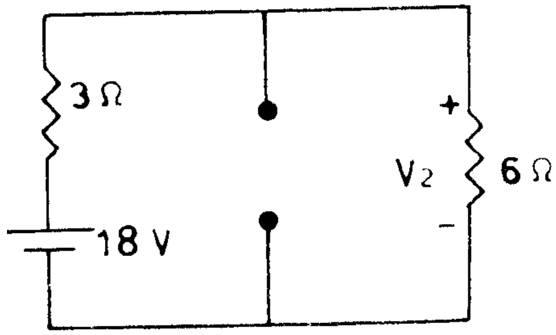
يتوزع تيار المصدر 3 أمبير بين المقاومتين 6 أوم و 3 أوم . و على هذا فإن تيار المقاومة 6 أوم هو:

$$I = 3\ [(1/6)] / [(1/6) + (1/3)] = 1\ A$$

و تكون الفولتية عبر المقاومة:

$$V_1 = 6 \times 1 = 6\ V$$

و عند إهمال مصدر التيار و أخذ مصدر الفولتية بنظر الاعتبار تصبح الدائرة كما هي في الشكل (٨- ٨ ب) عندئذ يمكن حساب التيار I_2 في القاومة 6 أوم .



شكل (٨- ٨ب)

$$I_2 = 18 / (3 + 6) = 2\ A$$

و أن الفولتية عبر المقاومة هي :

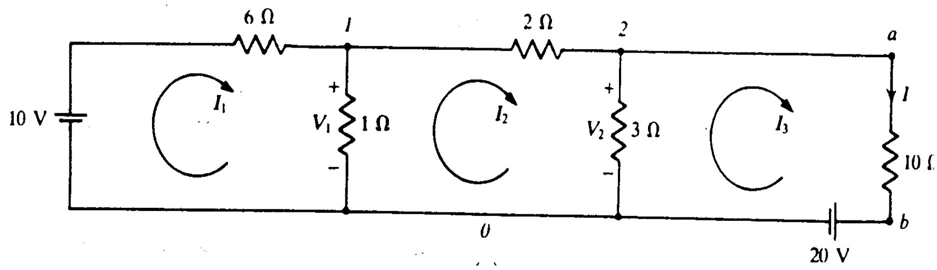
$$V_2 = 2 \times 6 = 12\ V$$

وهكذا فإن تأثير المصدرين في تيار و فولتية المقاومة 6 أوم يكون :

$$I = I_1 + I_2 = 1 + 2 = 3\ A$$
$$V = 6 + 12 = 18\ V$$

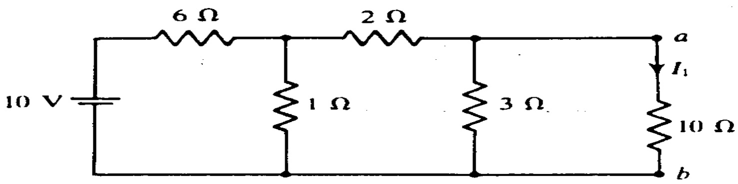
<u>مثال (٨- ٤):</u>

حل الدائرة (٨- ٩أ) للحصول على التيارI باستخدام نظرية التراكب.



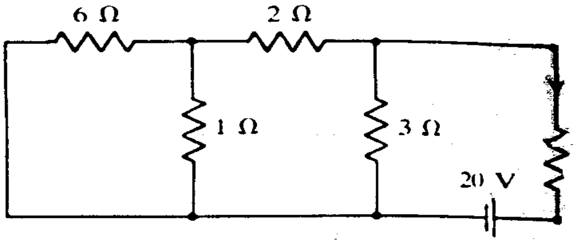
شكل (٨- ٩أ)

وبالرجوع لنظرية التراكب فإننا نوجد التيار الناشئ عن كل منبع على حدة (و ذلك مع عدم وجود المنابع الأخرى أي تقصركل المنابع الأخرى) ، و يكون التيار المطلوب مجموع هذه التيارات. و لحساب التيار الناشئ عن المصدر 10 فولت نحذف المصدر 20 فولت و ذلك باستبداله بدائرة قصيرة. و في هذه الحالة فإن الدائرة تأخذ شكل (٨- ٩ب). و بتجميع المقاومات، نجد أن التيار I1 قيمته 0,0636 أمبير.



شكل (٨- ٩ب)

و بعد ذلك نحذف المنبع 10 فولت ، لنحصل على الدائرة شكل (٨- ٩ج). و منها على التيار I2،



شكل (٨- ٩ج)

$I_1 = 0.0636\ A$

$I_2 = 1.744\ A$

و لذلك

$I = I_1 + I_2 = 0.0636 - 1.744 = -1.68\ A$

مثال (٨- ٥):

أوجد التيار I في الشكل (٨- ٩أ) باستخدام طريقة تحليل العقد.

الحل:

يمكن إعادة رسم شكل (٧- ٨)، بحيث تتحد العقدتين الرئيستين المرموز لهما بالرمز O. و باختيار هذه العقدة كمرجع للجهد نحصل على المعادلات التالية:

$$[(10 - V_1)/6] - (V_1/1) - [(V_1 - V_2)/2] = 0$$

$$[(V_1 - V_2)/2] - (V_2/3) - [(V_2 - 20)/10] = 0$$

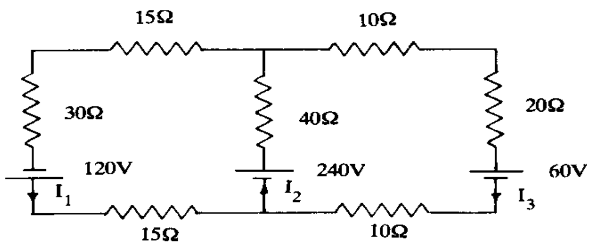
و منها نجد أن V_2 تساوي 3.2 فولت و بالتالي فإنه:

$$I = (V_2 - 20)/10 = -1.68\ A$$

هناك طرق مختلفة لتحليل الشبكات و إنما طريقة تحليل العقد هي الطريقة التي تحتاج إلى أقل مجهود ممكن.

مثال (٨- ٦):

أوجد التيار الذي يمر في كل بطارية من البطاريات الموجودة في الشكل (٨- ١٠) باستعمال طريقة التراكب.

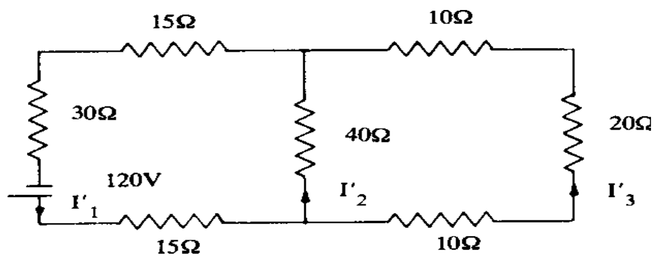


شكل (٨- ١٠)

الحل:

لحل هذه المسألة بطريقة التراكب نفرض وجود مصدر كهربائي واحد و نحذف المصدرين الآخرين و نحسب التيارات في الفروع المختلفة. و بعد تكرار هذه العملية لكل مصدر نقوم بجمع التيارات الناتجة في كل فرع للحصول على التيارات المطلوبة:

أ- المصدر الكهربائي (120V) كما في الشكل (أ).



«أ»

لحساب I1' نحسب المقاومة الكلية للدائرة

$$R' = 10 + 20 + 10 = 40\ \Omega$$

و هذه القاومة متصلة مع المقاومة الأخرى

$$\frac{1}{Rab} = \frac{1}{40} + \frac{1}{40}$$

$$R_{ab} = 20\ \Omega$$

و تكون المقاومة الكلية هي:

$$R = 20 + 15 + 15 + 30 = 80\ \Omega$$

$$I_1' = 120/80 = 1.5\ A$$

و لحساب I_2' ، نحسب فرق الجهد بين الطرفين a، b .

$$V_{ab} = I_1' \times R_{ab} = 1.5 \times 20 = 30\ V$$

$$I_2' = 30/40 = 0.75\ A$$

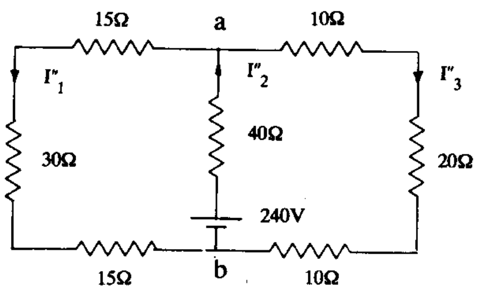
$$I_3' = 30/40 = 0.75\ A$$

ب- المصدر الكهربائي (14 V) في شكل (ب) باتباع الطريقة السابقة نفسها نحصل على:

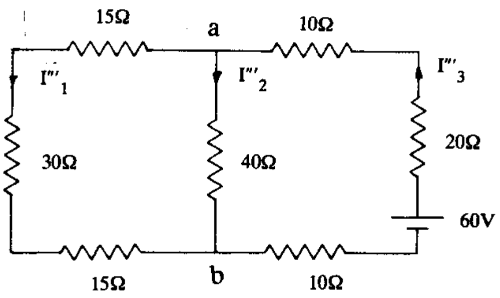
$$I_1'' = 1.5\ A,\ \ I_2'' = 3.75\ A,\ I_3'' = 2.25\ A$$

ج- المصدر الكهربائي (60 V) كما في الشكل (ج) باتباع الطريقة نفسها نحصل على:

$$I_1''' = 0.375\ A,\ I_2''' = 0.562\ A,\ I_3''' = 0.937A$$



«ب»



«ج»

وللحصول على التيارات في الفروع الثلاثة يجب جمع التيارات الجزئية الثلاثة في كل فرع جمعا جبريا.

$$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1''' = 1.5 + 1.5 + 0.375 = 3.375\ A$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' + I_2''' = 0.75 + 3.75 - 0.562 = 3.938\ A$$

يلاحظ أن I_2''' اعتبر سالبا لأنه في عكس اتجاه التيارين I_2' و I_2'' اللذين اعتبرا موجبين، كما أن التيار الكلي I_2 في اتجاه التيارين I_2' و I_2''

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3''' = 0.75 - 2.25 + 0.937 = -0.563\ A$$

و لما كانت القيمة التي حصل عليها للتيار I_3 سالبة ، كان معنى هذا أنه فى اتجاه الجزء الذي اعتبر سالبا و هو I_3'' .

دوائر كهربائية – ١

المغناطيسية الكهربائية

الجدارة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة على معرفة:

(١) أساسيات المغناطيسية الطبيعية وطريقة تصنيف المواد من وجهة النظر المغناطيسي

(٢) الكميات المغناطيسية ووحداتها.

(٣) العلاقة بين الكميات المغناطيسية.

(٤) حساب شدة المجال المغناطيسي و الفيض المغناطيسي

(٥) القوى الكهرومغناطيسية والآثار المغناطيسية للتيار الكهربائي

(٦) الحثية الذاتية والتبادلية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

المغناطيسية الكهربائية

مقدمة :

الكهرومغناطيسية (المغناطيسية الكهربائية) وهي العلاقة بين المغناطيس والكهرباء أو بتعبير آخر الكهرومغناطيسية هي فيزياء الحقل (المجال) الكهرومغناطيسي أي إنها فرع الفيزياء الذي يدرس الحقل الكهرومغناطيسي الذي يتألف بدوره من حقل كهربائي و حقل مغناطيسي. ينشأ الحقل الكهربائي عن الشحن الكهربائية الساكنة التي تسبب القوى الكهربائية المسؤولة عن الكهرباء الساكنة و المحددة بقانون كولوم. تقود هذه الحقول الكهربائية أيضا إلى جريان التيار الكهربائي في الموصلات الكهربائية. أما الحقل المغناطيسي فهو ينتج عن المغانط المختلفة إضافة للشحن الكهربائية المتحركة ، فعندما تسير شحنة كهربائية ضمن تيار كهربائي ينشأ عنها حقل مغناطيسي محيط بها . لذلك يصعب فصل هذين الحقلين عن بعضهما في الكثير من الحالات .

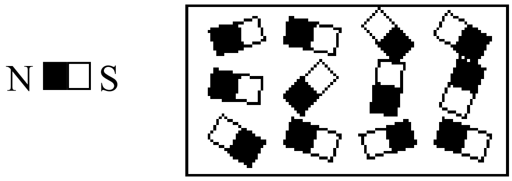
المغناطيس الطبيعي:

إذا كسرنا قضيبا مغناطيسيا نتج لدينا مغناطيسان لكل منهما قطب شمالي و قطب جنوبي، و يمكن عن طريق التكسير المتتالي تقسيم المغناطيس إلى أي عدد كبير من المغناطيسيات شكل (٩- ١). و يمكن أن نتصور استمرار هذه العملية حتى أصغر جسيم، و هو الذرة، لنصل إلى افتراض أن الذرة أيضا مغناطيس له قطب شمالي و قطب جنوبي. و على ذلك فإن المغناطيس يتكون من عدد كبير من المغناطيسيات المفردة الصغيرة، و هي ما تسمى بالمغناطيسات الذرية أو المغناطيسات الجزيئية.

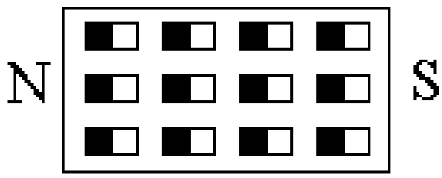
تتألف جميع المواد من ذرات بها نواة موجبة الشحنة تدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة فحركة هذه الشحنات السالبة تكون تيارات كهربائية صغيرة مما يتسبب في إحداث مجال مغناطيسي ذري له عزم مغناطيسي ذري.

وفي حالة عدم وجود أي مجال مغناطيسي خارجي تكون التيارات الصغيرة في اتجاهات مختلفة عشوائية كما في الشكل (٩- ٢أ) مما يسبب في إحداث مجالات مغناطيسية ذرية محددة في حجم الذرة و محصلة التيارات و العزوم المغناطيسية في المادة تلغي بعضها و بذلك لا يظهر أي أثر للمجال المغناطيسي. و يشذ عن هذه الحالة المغناطيس الدائم.

أما إذا وضعت المادة في مجال مغناطيسي خارجي، حثه B ، فإن القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنات المتحركة تغير من اتجاه مدار الإلكترونات في الذرات و مسار التيار للإلكترونات الحرة في المعادن و لذلك يتولد مجال مغناطيسي يكون اتجاهه مع اتجاه المجال الخارجي كما في حال المواد البارامغناطيسية كما في شكل (٩- ٢ب) أو عكس اتجاه المجال الخارجي كما في حالة المواد الدايامغناطيسية.



أ



ب

شكل (٩- ٢)

أ- العزوم المغناطيسية في اتجاهات مختلفة عشوائية و ذلك قبل وضعها فى المجال المغناطيسي الخارجي.

ب- العزوم بعد وضعها في المجال الخارجي.

المغناطيس الكهربائي:

المغناطيس الكهربائي عبارة عن مغناطيس تتولد فيه المغناطيسية فقط بسبب تدفق تيار كهربي خلال سلك ما. وعادة ما تُصنع المغناطيسات الكهربائية من ملف من السلك بعدد لفات كبير لزيادة التأثير المغناطيسي. ويُمكن زيادة المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف بوضع مادة مغناطيسية، كقضيب حديدي، داخل الملف. ويتسبب التيار المار خلال الملف في تحول الحديد إلى مغناطيس مؤقت.

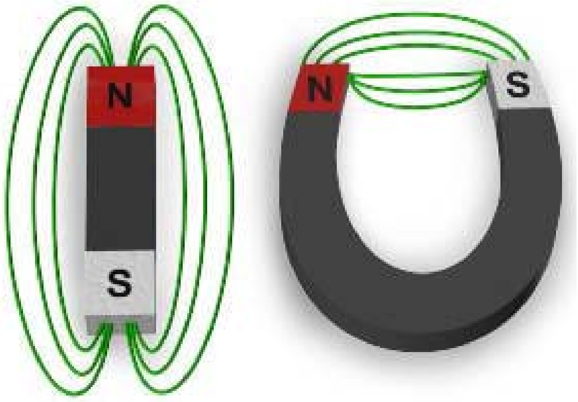
توليد مجال كهرومغناطيسي:

عندما يمر تيار كهربي خلال جزء من السلك فإنه يتولد مجال مغناطيسي حوله. وعند لف السلك حول قطعة من المعدن، مع ترك القطبين الشمالي والجنوبي مكشوفين يتمغنط المعدن، بحيث يصبح مغناطيسًا كهربائيًا. وعادة ما يستخدم تجار الحديد الخردة مغناطيسات كهربية ضخمة لالتقاط السيارات القديمة، وعند فصل التيار الكهربي عن المغناطيس فإنه يفقد قوته ويمكن إسقاط السيارة في مكان آخر.

المجال المغناطيسي:

المجال (الحقل) المغناطيسي هي قوة مغناطيسية تنشأ في الحيز المحيط بالجسم المغناطيسي أو الموصل الذي يمر به تيار كهربائي؛ أو بتعبير أبسط يمكن وصفها بأنها المنطقة المحيطة بالمغناطيس ويظهر فيها أثره (على مواد معينة). فإذا وضعت إبرة بوصلة في المجال المغناطيسي ذو قوة ما فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال، والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقط المختلفة تحدد الوضع العام للخطوط التي هي عليها القوة المغناطيسية في المجال.

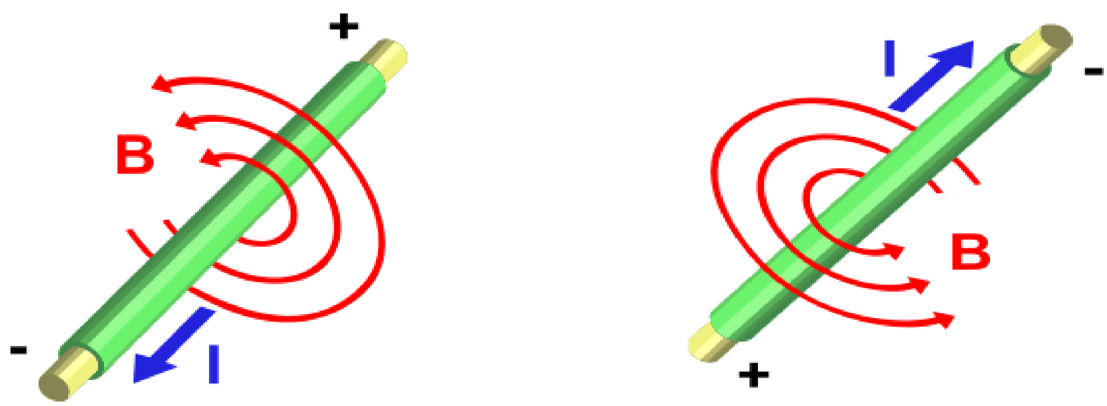
ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية شكل (٩- ٣) بحيث تكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودية على اتجاه خطوط القوى و هي مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى عند أية نقطة عليه يعطي اتجاه المجال المغناطيسي B عند تلك النقطة.



شكل (٩- ٣)

ا لمجال المغناطيسي الناتج عن موصل مستقيم يحمل تيار مستمر (قاعدة اليد اليمنى):

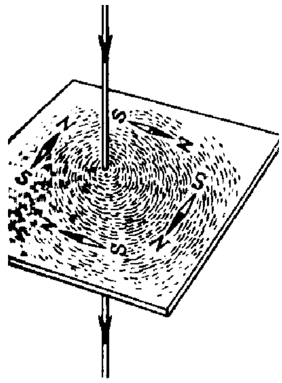
عند وضع قطعة مغناطيس صغيرة بالقرب من سلك يحمل تيارا نرى أن المغناطيس يصبح تحت تأثير قوة شبيهة بالقوة التي تظهر بين قطبين مغناطيسيين. و بهذا فإن السلك الحامل للتيار يسلك سلوك قطب مغناطيسي و يؤثر في قطعة المغناطيس المجاورة له. فنقول عن قطعة المغناطيس بأنها واقعة في المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك و نمثل المجال المغناطيسي الذي يولده التيار بخطوط دائرية مركزها السلك و يكون الاتجاه المحدد على الخطوط هو اتجاه القوة المؤثرة في قطب شمالي مجاور للسلك و كما هو موضح في الشكل (٩- ٤أ) و ينعكس اتجاه خطوط المجال عند عكس اتجاه التيارشكل (٩- ٤ب).



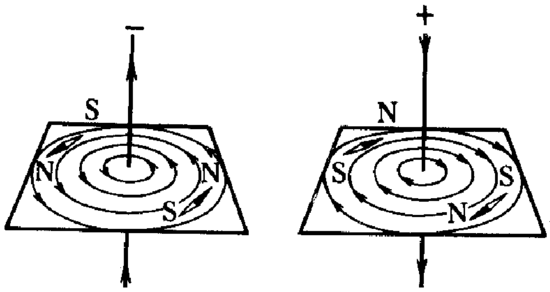
(ب) (أ)

شكل (٩-٤)

ويمكن مشاهدة توزيع المجال المغناطيسي بنثر برادة حديد على ورقة موضوعة على قضيب مغناطيسي شكل (٩- ٥أ) أو ورقة يمر خلالها سلك يمر به تيار كهربائي شكل (٩- ٥ب).



(أ)



(ب)

شكل (٩- ٥)

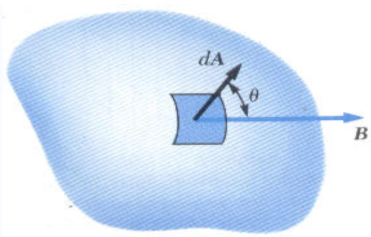
تتمثل القوة أو شدة المجال المغناطيسي بكثافة الخطوط التي تقطع مساحة متر مربع متعامدة معها. فكلما اقتربنا من السلك ازدادت القوة أو شدة المجال و بذلك ازدادت كثافة الخطوط و أصبحت الدوائر متقاربة. في حين أن المسافة تزداد بين الدوائر و تقل كثافة الخطوط عند الابتعاد عن السلك.

الفيض (التدفق) المغناطيسي:

الفيض المغناطيسي وكما عرف الفيض الكهربائي سابقا يمكن تعريف الفيض المغناطيسي على أنه عدد الخطوط المغناطيسية التي تعبر وحدة المساحات العمودية. افترض أن dA عبارة عن عنصر مساحة من سطح غير منتظم كما في الشكل(٩- ٦)، فالفيض المغناطيسي يعبر عنه بشدة المجال المغناطيسي B مضروب في المساحة العمودية dA. ويرمز للفيض المغناطيسي بالرمز Φ_m.

$$\Phi_m = \int B.dA \qquad (9\text{-}1)$$

$$\Phi_m' = BA\cos\theta$$



شكل (٩-٦)

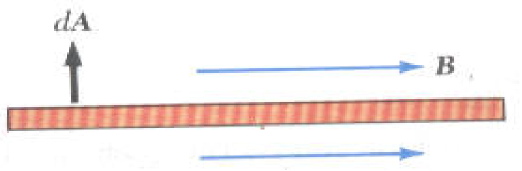
إذ يمثل A المساحة التي يقطعها الفيض Φ . و تقاس Φ بوحدة الويبر Wb(Weber) . أما B فإنها تقاس بالتسلا ويرمز لها بالرمز T

$$\frac{Newton}{Coulomb.\frac{meter}{Second}} = \frac{Newton}{Ampere.meter} = Tesla \equiv Weber / m^2$$

ووحدة Tesla هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام وحدة الجاوس في نظام جاوس للوحدات حيث إن

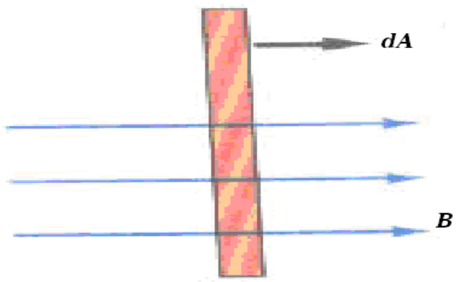
$$Tesla = 10^4 \text{ Gauss}$$

حيث إن dA هو متجه المساحة وقيمته تعطي مقدار المساحة واتجاهه يكون دائما عموديا على المساحة.



شكل (٩- ٧)

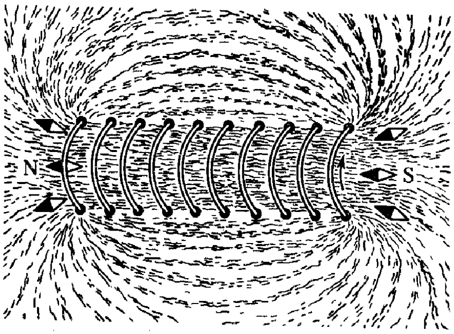
في الشكل (٩- ٧) الفيض المغناطيسي يساوي صفراً لأن المتجه dA عمودي على متجه المجال B .



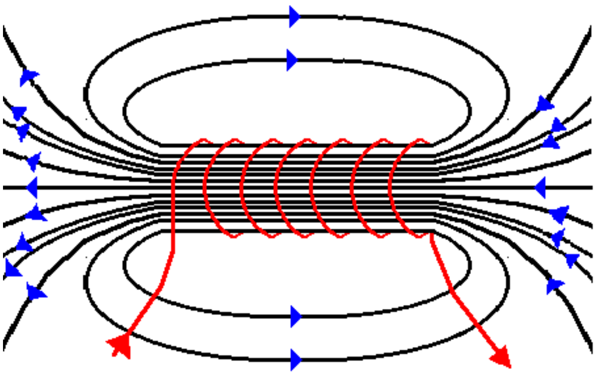
شكل (٩-٨)

في حالة الشكل (٩- ٨) الفيض المغناطيسي يساوي BA لأن المتجه dA في نفس اتجاه على متجه المجال B والزاوية المحصورة تساوي صفراً.

المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني يحمل تياراً مستمراً :



أ



ب

شكل (٩- ٩)

شكل المجال شكل (٩- ٩أ) :

داخل الملف : خطوط مستقيمة متوازية (مجال منتظم)

خارج الملف يشبه المجال المغناطيسي لساق ممغنط ويكون المجال ضعيفا جدا

اتجاه المجال: في الداخل من الجنوبي إلى الشمالي في الخارج من الشمالي إلى الجنوبي

القاعدة المستخدمة : البريمة اليمنى لماكسويل (اللولب يميني اللف) إذا أدرنا رأس البريمة داخل الملف على محوره في نفس اتجاه التيار في الملف يكون اتجاه تقدم البريمة هو نفس اتجاه خطوط المجال داخل الملف.

تحديد قطبي الملف شكل (٩- ٩ب):

طرف الملف الذي يكون فيه اتجاه التيار مع حركة عقارب الساعة يكون قطباً جنوبياً والطرف الآخر شمالياً ، طرف الملف الذي يدخل إليه التيار تدخل إليه خطوط المجال ويكون جنوبياً والعكس للطرف الآخر

المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلقي يحمل تياراً مستمراً :

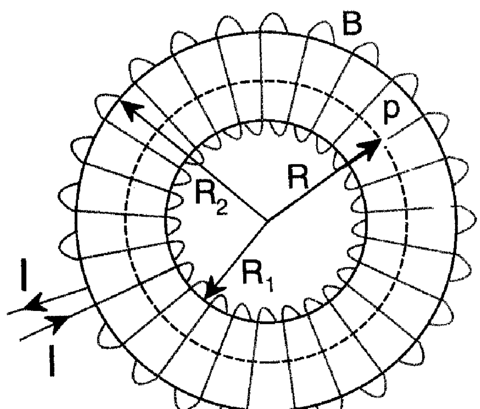
يمكن حساب كثافة التدفق الغناطيسي في أية نقطة داخل ملف لولبي شكل (٩- ١٠) على بعد R من المركز بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu_\circ NI}{2\pi R} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث : N عدد اللفات لملف حلقي، وR_1نصف القطر الداخلي،وR_2 نصف القطر الخارجي،وI شدة التيار المار في الملف.

بما أن جميع النقاط الواقعة على هذا المسار متناظرة بالنسبة للحلقة ، إذاً كثافة المجال متساوية عند جميع هذه النقاط.

وإذا كان الفرق بين R_2 , R_1 صغيرا تكون B متساوية عند جميع النقاط داخل الملف وتساوي $B = \frac{\mu_\circ NI}{2\pi R}$



شكل (٩- ١٠)

النفاذية :

تعتمد كثافة الفيض على الخواص المغناطيسية للمادة المحيطة بالسلك أو الموضوعة في المجال المغناطيسي وتسمى هذه الخاصية بالنفاذية ويرمز لها بالرمز μ و وحدتها الهنري لكل متر (Henry/m) ورمزها (H/m). ونستعمل نفاذية الفراغ كمرجع ويرمز لها بالرمز μ_0 وقيمتها.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \ H/m \qquad (9\text{-}3)$$

وقيمة نفاذية الهواء قريبة جدا من μ_0 . ونسمي النسبة بين نفاذية مادة ما والنفاذية μ_0 النفاذية النسبية لهذه المادة ويرمز لها بالرمز μ_r ، أي

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad (9\text{-}4)$$

وتعبر النفاذية على مدى سماحية المادة لمرور خطوط القوى المغناطيسية.

تصنيف المواد من حيث خواصها المغناطيسية :

جميع المواد على اختلاف أنواعها سواء الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة لها خواص مغناطيسية ، نتيجة لتأثرها بالمجال المغناطيسي، و لكن بدرجات متفاوتة فبعض المواد لها خواص مغناطيسية ضعيفة و بعضها متوسطة و بعضها قوية. كما أن لدرجة الحرارة أثرا كبيرا على هذه الخواص كذلك توجد مواد أخرى لها خواص مغناطيسية عكسية أي إن اتجاه المجال فيها يعاكس المجال المسبب.والمواد من حيث خواصها المغناطيسية تنقسم إلى قسمين رئيسين هما :

١- **مواد متسامتة التمغنط (بارامغناطيسية)** Paramagnetic

هذه المواد تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية و بمعنى آخر فإنها تتجذب نحو المغناطيس، و إذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها اتجاها يوازي المجال. و من هذه المواد الألمنيوم و التيتانيوم و الأوكسيجين و أما الحديد و النيكل و الكوبالت و سبائكها و مركباتها فإنها مواد بارامغناطيسية قوية جدا لهذا يطلق عليها المواد الحديدومغناطيسية (Ferromagnetic) التي تتميز بكبر معامل النفادية ، و التأثيرية المغناطيسية لها موجبة.

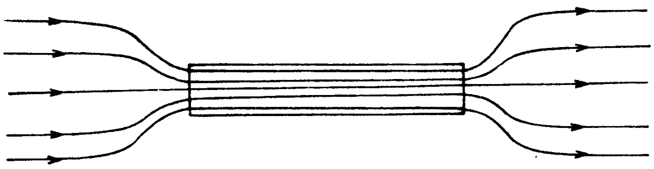
٢- مواد دايامغناطيسية (Diamagnetic)

و هذه تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه، و اذا أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط القوى. ومن هذه المواد البزموت و النحاس و تتميز بأن معامل نفاذيتها أقل من الواحد و القابلية المغناطيسية لها سالبة.

واذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الفراغ المطلق المحيط بالسلك هي B_0 فإن استبدال الفراغ أو الهواء بوسط آخر يؤدي الى رفع كثافة الفيض الى B و أن معامل الزيادة في الفيض يمثل خاصية المادة في قابلية تركيزها للفيض:

$$\mu r = B / B_0 \qquad (9\text{-}5)$$

و كما نرى في الشكل (٩- ١١) فإن المادة الفيرومغناطيسية تؤدي الى تركيز الفيض و تسلك الى حد كبير سلوك الأنبوب الذي يحدد مسار السائل دون أن يدعه يتسرب.



شكل (٩- ١١) تأثير المادة المغناطيسية في خطوط الفيض

إذا استبدل الهواء بمادة مغناطيسية فنجد أن هناك ثلاثة احتمالات هي:

١- تزداد قيمة B زيادة كبيرة في حالة المواد الحديد و مغناطيسية.

٢- تزداد قيمة B زيادة طفيفة جدا في حالة المواد البارامغناطيسية.

٣- تقل قيمة B في حالة المواد الدايامغناطيسية.

تعيين اتجاه خطوط المجال حول الموصل :

١. قاعدة قبضة اليد اليمنى: عندما تقبض اليد اليمنى على الموصل بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربائي فان اتجاه الأصابع الملتفة حول السلك يحدد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي.

٢. قاعدة البريمة اليمنى لماكسويل : إذا أدرت بريمة بحيث يشير اتجاه اندفاعها إلى اتجاه التيار فان اتجاه دوراتها يحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي (تسمى أيضا هذه القاعدة – قاعدة اللولب اليميني اللف)

٣. باستخدام بوصلة مغناطيسية صغيرة : إذا وضعت بوصلة على لوح الورق المقوى الذي يخترقه الموصل فان الاتجاه الذي يتخذه قطبها الشمالي يدل على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي

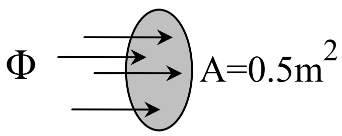
العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي هي :

١. شدة التيار الكهربائي (I) ← تناسب طردي مع شدة المجال (B α I)

٢. بعد النقطة عن السلك (d) ← تناسب طردي مع شدة المجال (B α 1/d)

<u>مثال (٩- ١):</u>

إذا كان الفيض المغناطيسي في المساحة A المبينة في الشكل ٩- ١٢ 2×10^{-5}Wb احسب كثافة الفيض حول هذه المساحة.



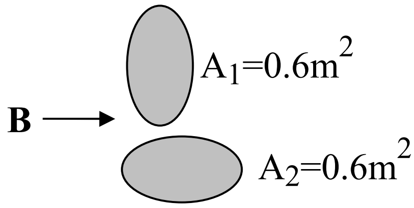
الشكل (٩-١٢)

<u>الحل:</u>

$$B=\frac{\Phi}{A}=\frac{2\times10^{-5}}{0.5}=4\times10^{-5}\,T$$

مثال (٩- ٢):

احسب الفيض المغناطيسي في المساحتين المتعامدتين A_1 و A_2 (الشكل ٩- ١٣) إذا كانت كثافة الفيض في المنطقة المحيطة بالمساحتين $B=10^{-5}T$ ، وكان اتجاهها عمودياً على المساحة A_1.



الشكل (٩- ١٣)

الحل:

الفيض في المساحة A_1: $\Phi = B\ A_1 = 0.6 \times 10^{-5}$ Wb

الفيض في المساحة A_2 يساوي الصفر لأن خطوط المجال لاتمر داخل هذه المساحة.

شدة المجال المغناطيسي:

شدة المجال المغناطيسي H في نقطة ما هي النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي والنفاذية المطلقة للمادة الموجودة في تلك النقطة ، أي

$$H = \frac{B}{\mu} \tag{9-6}$$

و وحدة الشدة هي أمبير لكل متر (A/m)، وسنرى سبب اختيار هذه الوحدة عندما ندرس العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي. وعلى العكس من كثافة الفيض، فإن شدة المجال المغناطيسي لا تعتمد على نوع المادة المتواجدة في المجال، وإنما تعتمد على مصدر المجال (المغناطيس) فقط. وشدة المجال هي مقدار موجه لها نفس اتجاه كثافة الفيض.

مثال(٩- ٣):

ينتج مغناطيس مجالا شدته 20A/m في نقطة معينة من الفضاء المجاور له. احسب كثافة الفيض في هذه النقطة إذا كانت نفاذية الفضاء المحيط بها تساوي :

أ- μ_0 (الفراغ أو الهواء)

ب- $1.000022\mu_0$ (الألمنيوم : مادة بارامغناطيسية)

ج- $0.99\mu_0$ (مادة ديامغناطيسية)

د- $5000\mu_0$ (نوع من الحديد : مادة مغناطيسية).

الحل:

من المعادلة (9-6) نستنتج أن $B=\mu H$:

أ- $B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.51\times 10^{-5}$ T

ب- $B = 1.000022\ \mu_0 H = 1.000022 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.513\times 10^{-5}$ T

ج- $B = 0.99\ \mu_0 H = 0.99 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.48 \times 10^{-5}$ T

د- $B = 5000\ \mu_0 H = 5000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 12566\times 10^{-5}$ T

وكما نرى فإن كثافة الفيض لا تتغير بصورة ملحوظة في مكان ما إلا إذا وضعنا مادة مغناطيسية فيه.

شدة المجال الناتج عن موصل مستقيم يحمل تياراً مستمراً:

ترتبط خطوط القوى المغناطيسية باتجاه التيار الذي ولدها حسب قاعدة اليد اليمنى الموضحة في الشكل (٩- ١٤) نص هذه القاعدة على أنه عند القبض على السلك الحامل للتيار باليد اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فإن أطراف باقي الأصابع تشير إلى اتجاه المجال.

ويعطى الحث المغناطيسي الناتج عن التيار I المار في سلك مستقيم طويل بالمعادلة

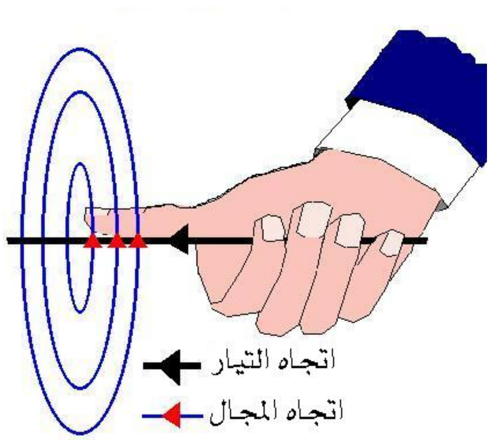
$$B=\frac{\mu I}{2\pi a} \qquad (9\text{-}7)$$

حيث a هي المسافة بين النقطة التي نحسب عندها الحث والمسقط العمودي لهذه النقطة على محور السلك، كما هو موضح في الشكل (٩- ١٥).

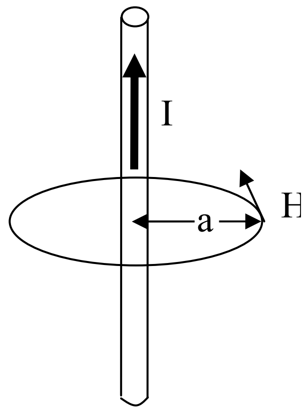
و باستعمال القانون (9-6) نجد أن شدة المجال الناشئ عن هذا التيار هي

$$H=\frac{I}{2\pi a} \qquad (9\text{-}8)$$

من هذه العلاقة نفهم اختيار وحدة A/m لشدة المجال، ونلاحظ أن شدة المجال لاتعتمد على نفاذية الوسط كما أشرنا إلى ذلك في نهاية الفصل السابق.



الشكل (٩- ١٤)قاعدة اليد اليمنى



الشكل (٩- ١٥) المغناطيس الناتج عن مرور تيار في سلك مستقيم طويل

<u>مثال (٩- ٤):</u>

يمر تيار كهربائي شدته 15A في سلك مستقيم طويل موضوع في الفراغ. احسب قيمة الحث المغناطيسي وشدة المجال الناتجين على بعد 4cm من السلك.

<u>الحل:</u>

نطبق المعادلتين (9-5) و(9-6) علما أن في الفراغ $\mu=\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ H/m$

$$B=\frac{\mu I}{2\pi a}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=7.5\times10^{-5}\,T$$

$$H=\frac{I}{2\pi a}=\frac{15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=59.7\,A/m$$

القوة الميكانيكية المؤثرة على موصل يحمل تياراً مستمراً في مجال مغناطيسي:

يحدد اتجاه القوة F التي تظهر على سلك حامل لتيار كهربائي I عند وضعه في مجال مغناطيسي كثافة فيضه B باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى الموضحة في الشكل (٩- ١٦) التي تنص على ما يلي: إذا أشارت السبابة إلى اتجاه المجال، وأشارت الوسطى إلى اتجاه التيار فإن الإبهام سيشير إلى اتجاه القوة.

أما قيمة هذه القوة فهي:

$$F = I B \ell \sin\theta \qquad (9\text{-}9)$$

حيث ℓ هو طول السلك و θ هي الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط المجال. ونستنتج أن القوة تصل إلى قيمتها القصوى $IB\ell$ عندما يكون السلك عمودياً على المجال أي عندما $\theta=90^\circ$. أما إذا كان السلك موازيا للمجال أي $\theta=0^\circ$ فإن القوة تنعدم.



الشكل(٩-١٦)قاعدة فليمنج لليد اليسرى

مثال (٩- ٥):

وضع سلك طوله 10cm عموديا على مجال مغناطيسي. إذا كانت شدة التيار المار في السلك 2A، وكانت القوة الناتجه على السلك 0.04N، فما هي كثافة الفيض المغناطيسي؟ احسب هذه الكثافة إذا كانت الزاوية بين السلك والمجال تساوي 30^o.

الحل:

من المعادلة 9-9 نستنتج

$$B = \frac{F}{I \ell \sin\theta}$$

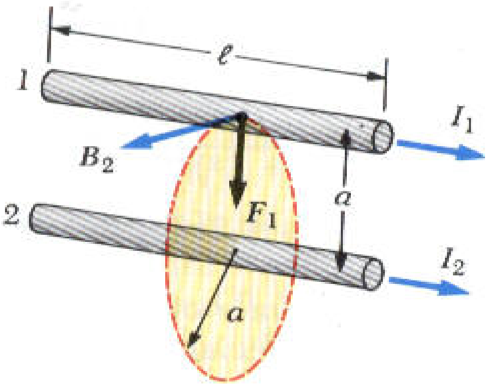
$$= \frac{0.04}{2\times10\times10^{-2}\times\sin(90^o)} = 0.2T$$

عندما تكون الزاوية $\theta = 30^o$ تصبح كثافة الفيض

$$B = \frac{0.04}{2\times10\times10^{-2}\times\sin(30^o)} = 0.4T$$

القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين يمر بهما تيار كهربي:

تعلمنا من المحاضرات السابقة أن كل سلك موصل يمر به تيار ينشأ حوله مجالاً مغناطيسياً وأن لكل مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على سلك يمر به تيار ولهذا اذا وجد سلكان موصلان كما في الشكل (٩- ١٧)ويمر بكل منهما تيار كهربي I1 و I2 فإن المجال المغناطيسي B2 الناشئ عن التيار الثاني يؤثر بقوة مقدارها F1 ,يمكن التعبير عن القوة التي يؤثر بها موصل على آخر كما في الخطوات التالية:



شكل (٩- ١٧)

لنعتبر المجال المغناطيسي الناشئ عن السلك 2 والتي تعطى قيمته بالمعادلة التالية:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}10)$$

يقع السلك الثاني في المجال المغناطيسي للسلك الثاني والذي يبعد عنه مسافة a كما في الشكل (٩- ١٧)

وبالتالي لأن قوة مغناطيسية F1 تعطى بالمعادلة التالية:

$$F_1 = I_1 \ell B_2 = I_1 \ell \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\right) = \frac{\ell \mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}11)$$

والقوة لكل وحدة أطوال تعطى بالعلاقة التالي:

$$\frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}12)$$

و بالمثل نحصل على القوة المؤثرة على كل وحدة طول من السلك 2، F_2، وهي تساوي القوة F_1 في القيمة وتعاكسها في الإتجاه. أما اتجاه القوتين فإنه يعتمد على اتجاه التيارين، فإذا كان التياران في نفس الإتجاه يتجاذب السلكان، ويتنافران في الحالة الأخرى .

مثال (٩- ٦):

عند قياس قوة التجاذب بين سلكين طويلين متوازيين يمر فيهما تياران موضوعان في الفراغ على بعد 30cm من بعضهما وجد أنها تساوي 20×10^{-7}N/m . احسب شدة التيار المارة في السلك الثاني إذا كانت شدة التيار المار في السلك الأول هي 2A.

الحل :

من المعادلة (12- 9) نستنتج

$$I_2 = \frac{2\pi\, d\, F_{21}}{\mu_0\, I_1}$$
$$= \frac{2\pi\times30\times10^{-2}\times20\times10^{-7}}{4\pi\times10^{-7}\times2} = 1.5\,A$$

مثال(٩- ٧):

موصلان طول كلا منهما مترا واحدا و يحمل كل واحد منهما تيارا مقداره أمبير واحد. عين قوة التجاذب بينهما.

الحل:

$$F = 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 1 \text{ x } 1 \text{ x } 1 /2\pi \text{ x } 1 = 2 \text{ x } 10^{-7} \text{ N}$$

<u>مثال (٩– ٨):</u>

قضيبا توزيع يبعدان عن بعضهما مسافة 30 سم يمر في كل منهما تيار مقداره 600 أمبير في اتجاهين متضادين. احسب مقدار القوة بينهما لكل متر طولي. و إذا حدث قصر في الدائرة بحيث زاد التيار فيهما إلى 72000 أمبير فاحسب مقدار القوة في تلك الحال.

$$F = 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 600 \text{ x } 600 \text{ x } 1 / \ 2\pi \text{ x } 0.3 = 0.24 \text{ N}$$

و هي قوة تنافر بين قضيبي التوزيع. و عند حدوث القصر:

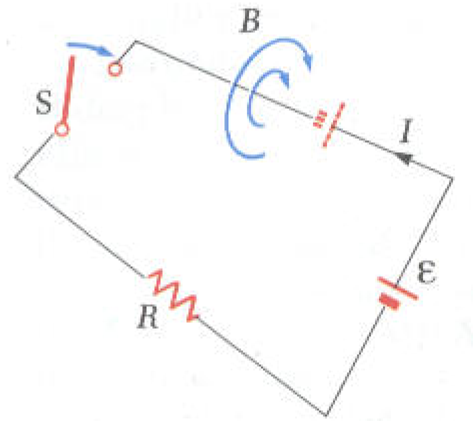
$$F = 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 72000 \text{ x } 72000 \text{ x } 1 / \ 2\pi \text{ x } 0.3 = 3456 \text{ N}$$

يتضح من النتائج أن قصر الدائرة قد يؤدي إلى تحطيم قضبان التوزيع نتيجة للزيادة الهائلة في القوى الكهرومغناطيسية.

الحث الذاتي والحث المتبادل:

تعلمنا فيما سبق أن التيار ينشأ في الدائرة الكهربية عندما يتغير الفيض المغناطيسي خلال الدائرة مع الزمن. وفي هذه المحاضرة سندرس الحث الذاتي Self Inductance الذي ينشأ في الدائرة نفسها عند مرور تيار كهربي فيها أو بمعنى أدق عند غلق او فتح الدائرة الكهربية. وهذا التأثير (الحث الذاتي) يلعب دوراً أساسياً في دوائر التيار المتردد حيث إن التيار يتغير باستمرار مع الزمن.

الحث الذاتي Self Inductance:



شكل (٩- ١٨)

اعتبر دائرة كهربية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربي كما في الشكل (٩- ١٨)، عند غلقها فإن التيار المار في الدائرة لن يصل إلى قيمته العظمى فور غلق المفتاح إنما سوف يستغرق بعضا من الوقت نتيجة لقانون فارادي .كيف ذلك؟

عند غلق المفتاح في الدائرة الكهربية يحدث ما يلي:

١. يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
٢. يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لازدياد التيار.
٣. الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي Lenz's Law .

هذه القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الدائرة تعمل في عكس اتجاه التيار الأصلي وهذا نتج عن الزيادة في الفيض المغناطبيسي نتيجة لزيادة التيار عند غلق المفتاح... هذا التأثير في الدائرة يعرف باسم التأثير الحثي الذاتي.Self Induction

من قانون فارادي يمكننا من إيجاد صيغة رياضية للتعبير عن الحث الذاتي .حيث ان الفيض المغناطيسي يتناسب مع المجال المغناطيسي والأخير يتناسب مع التيار في الدائرة لذا فإن القوة الدافعة الكهربية للحث الذاتي تتناسب مع التغير في التيار الكهربي.

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}13)$$

الحث الذاتي L في المغناطيسية يناظر السعة الكهربية C ويمكن التعبير عن الحث الذاتي L بالأبعاد الهندسية للدائرة. فإذا افترضنا ملفاً عدد لفاته N فإن L تعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} \qquad (9\text{-}14)$$

كما يمكن التعبير عن الحث الذاتي بالمعادلة التالية:

$$L = -\frac{\mathcal{E}}{dI/dt} \qquad (9\text{-}15)$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن أبعادها الهندسية وإنما تعتمد على قياس الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربية والتغيير في التيار .وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنري Henry .

$$1\ \mathrm{H} = 1\ \frac{\mathrm{V\cdot s}}{\mathrm{A}} \qquad (9\text{-}16)$$

إيجاد الحث الذاتي من خلال قياس الأبعاد الهندسية:

اعتبر ملفاً عدد لفاته N لفة وطوله l أكبر بكثير من نصف قطر الملف .ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \qquad (9\text{-}17)$$

أما الفيض الكهربي فيعطى بالعلاقة التالية:

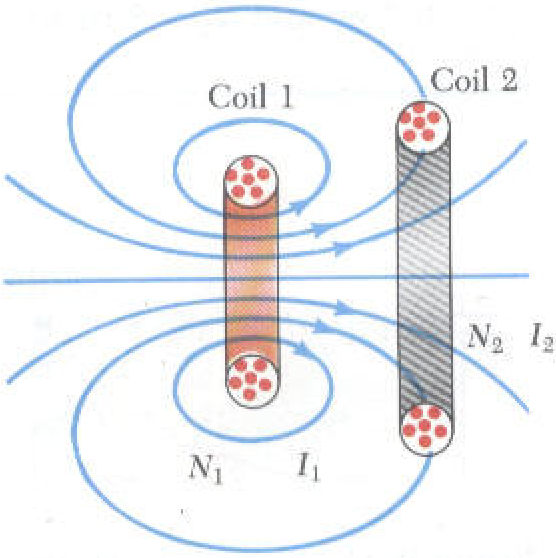
$$\Phi_m = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I \tag{9-18}$$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \tag{9-19}$$

$$L = \mu_0 \frac{(n\ell)^2}{\ell} A = \mu_0 n^2 A\ell = \mu_0 n^2(\text{volume}) \tag{9-20}$$

ومن هذا يتضح أن الحث الذاتي للملف يعتمد على خواصه الهندسية (الطول والمساحة وعدد اللفات)

الحث المتبادل Mutual Inductance



شكل (٩- ١٩)

نتيجة للتغير في التيار الكهربي في دائرة يؤدي ذلك إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربية في تلك الدائرة ويسمى هذا التأثير بالتأثير الحثي المتبادل Mutual Inductance لأنه نتج من تأثير دائرة كهربية على أخرى.

في الشكل(٩- ١٩) توضيح للتأثير الحثي المتبادل حيث ملفين متجاورين يمر في الملف الأول وعدد لفاته N_1تيار كهربي قيمته I_1 ينشئ مجالا مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي Φ_{21} يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته.I_2

يعرف التأثير الحثي المتبادل M_{21} في الملف الثاني من خلال المعادلة التالية:

$$M_{21} = \frac{N_2\Phi_{21}}{I_1} \tag{9-21}$$

$$\Phi_{21} = \frac{M_{21}}{N_2} I_1 \tag{9-22}$$

إذا كان التيار I_1 في الملف الأول متغير مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الثاني نتيجة للملف الأول هي:

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21}\frac{dI_1}{dt} \tag{9-23}$$

وبنفس الفكرة إذا كان التيار I_2 في الملف الثاني متغيراً مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الأول نتيجة للملف الثاني هي:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \tag{9-24}$$

أي إن القوة الدافعة الكهربية المتولدة في ملف تتناسب طردياً مع معدل التغير في التيار الكهربي في الملف الآخر.

حالة خاصة:

في حالة ما يكون معدل التغير في التيار $(dI_1/dt) = (dI_2/dt)$ فإن القوة الدافعة الكهربية

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 \tag{9-25}$$

وهذا يعني أن

$$M_{21} = M_{12} = M \qquad (9\text{-}26)$$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية في الملفين تعطى بـ

$$\mathcal{E}_1 = -M\frac{dI_2}{dt} \qquad \mathcal{E}_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad (9\text{-}27)$$

وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

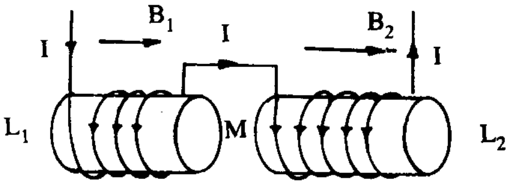
توصيل ملفات الحث:

على التوالي:

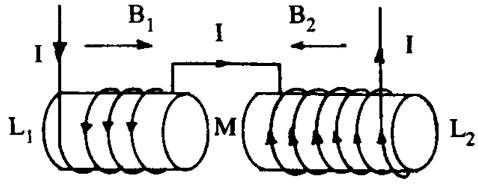
توصل ملفات الحث، كما توصل غيرها من عناصر الدوائر الكهربائية، إما على التوالي أو التوازي أو في شبكات أكثر تعقيدا. و لكي نستطيع مناقشة توصيل الملفات نبدأ بتعريف الحث الذاتي المكافئ كما يلي:

الحث الذاتي المكافئ للشبكة هو نسبة القوة الدافعة الكهربائية الكلية (ذاتية و تبادلية) المستحثة بين طرفي الشبكة إلى معدل تغيير التيار المسبب لتوليد هذه القوة الدافعة الكهربائية.

إذا فرضنا كما في شكل (٩- ٢٠)وجود ملفين أحدهما حثه الذاتي L_1 و الثاني حثه الذاتي L_2 و معامل الحث المتبادل M واتصل هذان الملفان على التوالي و مر بهما التيار I بحيث تكون كثافة الفيض المغناطيسي لهما B_1 وB_2 في اتجاه واحد كما في شكل (٩- ٢٠أ).



«أ»



«ب»

شكل (٩- ٢٠) توصيل الملفات على التوالي:

أ- ينتج عن توصيلهما و مرور التيار فيهما مجالان مغناطيسيان لهما الاتجاه نفسه.

ب- متعاكسان في الاتجاه.

إذا تغيرت شدة التيار المار فيهما فإن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الذاتية و المتبادلة في كل من الملفين تكون في اتجاه واحد أيضا.

و تكون القوة الدافعة التأثرية المتولدة في الملف (1) تساوي:

$$e1 = L1\frac{dI}{dt} + M\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}28)$$

أما ال ق.د.ك المتولدة في الملف (2) فتساوي:

$$e2 = L2\frac{dI}{dt} + M\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}29)$$

و بذلك تكون القوة الدافعة التأثيرية الكلية:

$$e = e1 + e2 = (L1 + L2 + 2M)\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}30)$$

$$e = L'\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}31)$$

و هكذا فإن الحث الذاتي المكافئ L' يساوي:

$$L' = L1 + L2 + 2M \qquad (9\text{-}32)$$

و إذا مر التيار I بحيث يؤدي إلى أن تكون B1 وB2 في إتجاه مضاد كما هو موضح بالشكل (٩- ٢٠ب)

فإن محصلة القوة الدافعة التأثيرية الذاتية و المتبادلة المتولدة (نتيجة تغيير شدة التيار) في الملفين هي:

$$L'' = L1 + L2 - 2M \qquad (9\text{-}33)$$

ملحوظات مهمة :

١- إذا كان الفيض الناشئ في أحد الملفين لا يقطع الملف الآخر نظر لابتعادهما عن بعض فإن $M = 0$
و يكون الحث الذاتي المكافئ طبقا للمعادلتين (٩- ٣٢) و (٩- ٣٣)

$$L = L_1 + L_2 \qquad (9\text{-}34)$$

٢- بطرح المعادلة (٩- ٣٣) من المعادلة (٩- ٣٢) ينتج أن الحث المتبادل بين الملفين هو:

$$M = 1/4\,(L' - L'') \qquad (9\text{-}35)$$

$$M^2 = L_1 \times L_2$$

$$\sqrt{L1L2}\; M = \qquad (9\text{-}36)$$

أي إن الحث المتبادل بين ملفين يساوي الجذر التربيعي لحاصل ضرب حثهما الذاتي و ذلك عند تلاصق الملفين.

على التوازي:

إذا فرضنا أن الملفين متصلان على التوازي ففي هذه الحالة يتفرع التيار I

بين الملفين و يكون التيار الكلي كما يلي:

$$I = I_1 + I_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (9\text{-}37)$$

حيث التيار I_1 المار في الملف الذي حثه الذاتي L_1 وI_2 التيار المار في الملف الذي حثه الذاتي L_2 .

و يكون معدل تغير التيار الكلي بالنسبة للزمن مساويا لمجموع معدل التغير لكل من I1 و I2 و يتم ذلك بتفاضل المعادلة (9-37) بالنسبة للزمن:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{dI1}{dt} + \frac{dI2}{dt} \qquad (9\text{-}38)$$

و بما أن :

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{e}{L} \qquad (9\text{-}39)$$

$$\frac{dI1}{dt} = -\frac{e1}{L1} \qquad (9\text{-}40)$$

$$\frac{dI2}{dt} = -\frac{e2}{L2} \qquad (9\text{-}41)$$

و بالتعويض في المعادلة (9-38)، و إذا كان هناك عدد من الملفات يزيد على اثنين نجد أن :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} + ... + \frac{1}{Ln} \qquad (9\text{-}42)$$

و يتم هذا على شرط أن تقوم باتخاذ احتياطات معينة تمنع تأثير المجالات المغناطيسية لهذه الملفات عن بعضها حتى لا يحدث ارتباط مغناطيسي بينهما نتيجة للتأثير المتبادل.

مثال (٩- ٩):

تعطى كثافة الفيض المغناطيسي في محورملف مكون من N لفة، ذي قلب (حديدي أو غير حديدي) نفاذيته μ وطوله ℓ، بالمعادلة $B=\mu NI/\ell$، حيث I هوالتيار المار في هذا الملف. وهذه المعادلة لا تصلح إلا إذا كان طول القلب أكبر بكثير من قطره d. احسب الحثية الذاتية للملف عندما تكون $N=100$، $\ell=10cm$، $\mu_r=1000$ (قلب حديدي) و $d=5mm$. كم تصبح هذه الحثية لو نزعنا القلب الحديدي ؟

الحل:

باستعمال المعادلة (9-2) فإن الفيض المغناطيسي Φ يكون

$$\Phi = BA = \frac{\mu NI}{\ell} A$$

حيث إن مساحة مقطع القلب $A=\pi d^2/4$. وبالتعويض في المعادلة (9 - 9)ستنتج الحثية

$$L=\frac{\mu N^2 A}{\ell}=\frac{\mu_0\,\mu_r\,N^2\,\pi\,d^2}{4\ell}$$

$$=\frac{4\pi\times10^{-7}\times1000\times(100)^2\,\pi\,(5\times10^{-3})^2}{4\times10\times10^{-2}}=2.5\times10^{-3}\ H=2.5\,mH$$

لو نزعنا القلب الحديدي فإن الحثية تنخفض بنسبة μ_r، أي تصبح

$$L=2.5\times10^{-3}/\mu_r=2.5\times10^{-3}/1000=2.5\times10^{-6}\ H=2.5\ \mu H$$

ونلاحظ أن الحثية في الملفات الطويلة تتناسب مع نفاذية ومساحة مقطع القلب ومع مربع عدد اللفات كما تتناسب عكسيا مع طول الملف.

<u>مثال (٩- ١٠):</u>

حلقة دائرية من الحديد مساحة مقطعها 1 سم^2 و متوسط طولها 40 سم و ملفوف عليها ملف به 4000 لفة. إذا مر تيار مقداره 0.5 أمبير في الملف فإن كثافة الفيض في الحلقة تكون 0.4 ويبر لكل متر مربع. أوجد النفادية النسبية لمادة الحلقة و الحث الذاتي للملف.

<u>الحل:</u>

$$H = NI/\ell = 4000 \times 0.5 / 0.40 = 5000\ AT/m$$

$$\mu = B/H = 0.4 / 5000 = 8 \times 10^{-5}$$

$$\mu = \mu_0\,\mu_r$$

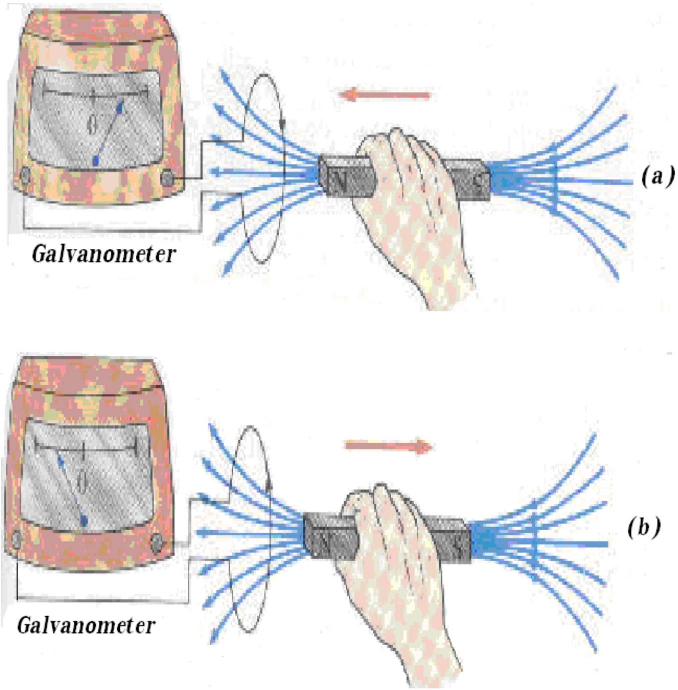
$$\mu_r = 8 \times 10^{-5} / 4\pi \times 10^{-7} = 63.69$$

$$L = N\Phi / I = N.B.A / I = 4000 \times 0.4 \times 0.01 / 0.5 = 32\ H$$

قانون فارادي و قانون لينز:

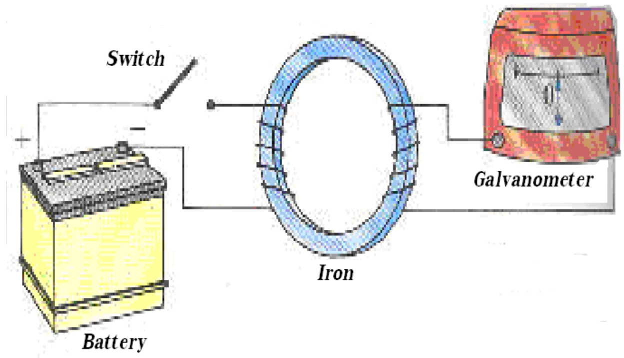
درسنا فيما سبق كيفية الحصول على مجال مغناطيسي من تيار يمر في أشكال مختلفة من السلك، وتجدر الإشارة هنا إلى التساؤل هل يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي. وهذا ما تم الإجابة عنه كل من العالمين مايكل فارادي البريطاني وجوزيف هنري الأمريكي حيث اكتشف قانون فارادي عام ١٨٣١ بعد أن قام كل من العالمين بعدة تجارب أدت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فارادي للحث Faraday's law of induction. والتي من خلالها يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي.

لوحظ أنه عند اقتراب مغناطيس من الدائرة المبينة في الشكل(٩- ٢١أ) يتحرك مؤشر الجلفانومتر وعند ثبوت المغناطيس يعود مؤشر الجلفانومتر إلى الصفر أما عند سحب المغناطيس في الاتجاه المعاكس شكل (٩- ٢١ب) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه الأخر مما يشر إلى مرور تيار كهربي في الدائرة عند حركة المغناطيس يعرف هذا التيار بالتيار الحثي Induced Current وهو ناشئ من قوة دافعة كهربية Induced Electromotive Force.



شكل (٩-٢١)

في تجربة أخرى مبينة في الشكل(٩- ٢٢) نلاحظ عند لحظة إغلاق مفتاح الدائرة الكهربية ولحظة فتح الدائرة الكهربية مرور تيار في الدائرة الثانوية، وهذا يعود إلى أنه في حالة فتح الدائرة الكهربية أو إغلاقها فإن التيار يتغير بين القيمة صفر وأقصى قيمة مما يؤدي إلى تغيير في المجال المغناطيسي المتولد في الملف على الجانب الأيسر للدائرة وهذا يؤدي إلى تيار كهربي يمر في الدائرة الثانوية.



شكل (٩- ٢٢)

والسؤال الآن ما هو السبب في التيار الحثي الذي ينشأ بواسطة التغيير في المجال المغناطيسي؟

من الملاحظات العملية على التجارب سابقة الذكر نستنتج أن القوة الدافعة الكهربية في الدائرة تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي خلال الدائرة.أي إن:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (9\text{-}43)$$

حيث أن Φ_m هي الفيض المغناطيسي المار خلال الدائرة الكهربية. والتي تحسب من القانون التالي:

$$\Phi_m = \int B.dA \qquad (9\text{-}44)$$

في حالة تكون الدائرة الكهربية من عدة لفات N فإن قانون فاراداي للحث يصبح في الصورة التالية:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (9\text{-}45)$$

ولتغيير الفيض المغناطيسي يمكن استخدام عدة طرق وهي:

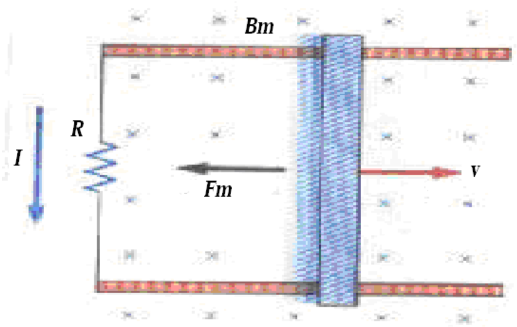
- تغيير المجال المغناطيسي.
- تغيير مساحة الدائرة الكهربية.
- تغيير الزاوية بين متجه المساحة العمودي على المساحة ومتجه المجال المغناطيسي.

المعنى الفيزيائي للإشارة السالبة:

تدل الإشارة السالبة في قانون فاراداي على اتجاه التيار الحثي الذي يتولد في الدائرة الكهربية نتيجة للتغير في الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن. وباستخدام قانون لينز يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي، وينص قانون لينز على ما يلي:

يكون اتجاه التيار الحثي في الدائرة الكهربية بحيث يعاكس الفيض المغناطيسي الناشئ عنه الفيض المغناطيسي الذي أنشأه.

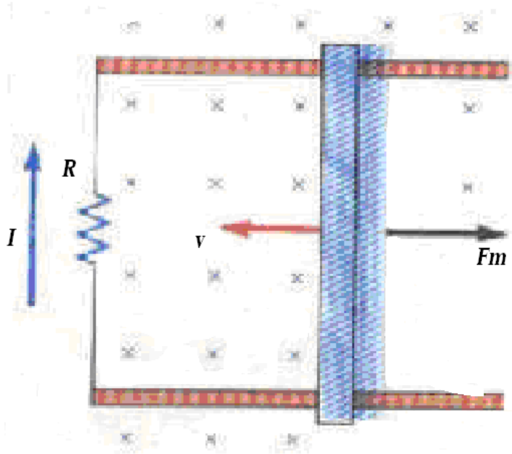
حالة توضيحية:



شكل (٩- ٢٣)

نفترض مجالا مغناطيسيا خارجيا في اتجاه الصفحة للداخل كما هو موضح في الشكل (٩- ٢٣) بعلامة x. عند تحريك الساق المعدنية إلى اليمين يزداد الفيض المغناطيسي داخل الدائرة مع الزمن لأن المساحة تزداد. من قانون لينز ينشأ تيار حثي بحيث ينشئ قوة تقاوم حركة الساق إلى اليمين لتمنع الزيادة في الفيض المغناطيسي في الدائرة وعليه يكون اتجاه التيار الحثي عكس عقارب الساعة. لهذا التيار الحثي مجال مغناطيسي (في اتجاه خارج من الصفحة عكس المجال الخارجي) ليقاوم الزيادة في الفيض المغناطيسي.

إذا تحركت الساق المعدنية في المثال السابق إلى اليسارشكل (٩- ٢٤) بحيث يقل الفيض المغناطيسي مع الزمن فإن التيار الحثي الناتج يكون مع عقارب الساعة بحيث يكون المجال المغناطيسي الناشئ عنه في اتجاه داخل على الصفحة (مع المجال المغناطيسي الخارجي) وذلك ليقاوم النقصان في الفيض المغناطيسي.



شكل (٩- ٢٤)

مثال (٩- ١١):

احسب معامل الحث الذاتي لملف حلزوني بداخله هواء طوله متر و مساحته مقطعه $6x10^{-4}$ متر مربع و عدد لفاته 1000 لفة. ثم أوجد معامل حثه الذاتي إذا لف على قضيب من الحديد نفاديته النسبية 500، ثم احسب القوة الدافعة الذاتية المتولدة فيه إذا تغير التيار الأصلي المار فيه بمعدل 15 أمبير/ ثانية.

الحل:

$$L=\frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad =\frac{4\pi\times10^{-7}\ x1000000x6x10^{-4}}{1}=75.4x10^{-5}\ H$$

و في حالة لف الملف الحلزوني على قضيب من الحديد:

$$L=\frac{\mu N^2 A}{\ell}=\frac{\mu_0\ \mu_r\ N^2 A}{\ell}$$

$$=500x\frac{4\pi\times10^{-7}\times10^{6}\ x6\times10^{-4}}{1}=0.377H$$

$$e=-L\frac{di}{dt}=0.377\ x\ 15=5.655\ V$$

مثال(٩- ١٢):

ملف حلزوني طوله ℓ = 1 متر و مساحة مقطعه A = $6x10^{-4}$ سم^2 و عدد لفاته N_1= 1000 التف حول منتصفه ملف آخر صغير عدد لفاتهN_2= 20 . احسب:

١- الحث المتبادل بين الملفين.

٢ - ما قيمة القوة الدافعة الحثية في الدائرة الثانية نتيجة تغيير التيار في الدائرة (1) بمقدار 10 أمبير/ الثانية.

الحل:

١- في الملف (1) تكون كثافة الفيض المغناطيسي في اتجاه محوره نتيجة مرور تيار قيمته I

$$B = \mu_0 (N_1/\ell)\ Wb/m^2$$

عندئذ يساوي التدفق المار بالمقطع المركزي المقدار:

$$\Phi = BA = \mu_0 (N_1 I A/\ell)$$

و لما كان هذا التدفق يتصل بالملف (2) فإن معامل الحث المتبادل :

$$M = (N_2 \Phi)/ I = \mu_0 (N_2 N_1 A/\ell)$$

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

$$= 500x \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^6\ x 6 \times 10^{-4}}{1} = 0.377H$$

$$10^{-7} \times 10^{-3} \times 10^{+3} \times 20 \quad M = 12.57x$$

٢- القوة الدافعة الحثية في الدائرة (2) تعطى بالمعادلة :

$$e2 = -M.\frac{dI1}{dt}$$

$$e2 = -25.1 \times 10^{-6} \times 10 = -251\ \mu V$$

مسائل إضافية:

1-1 : يمر تيار شدته 2A في سلك طويل مستقيم موضوع في الهواء. احسب كثافة الفيض المغناطيسي الناتج وشدة المجال عند نقطة تبعد 8cm عن السلك.

1-2 : يمر تيار شدته 4A في سلك مستقيم طوله 10cm. احسب القوة الميكانيكية التي تظهر على السلك إذا وضع عموديا على خطوط مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.06T. كم تصبح هذه القوة إذا كانت الزاوية بين السلك والمجال 40^{o} ؟

1-3 : وضع سلك طوله 0.50m وحامل لتيار شدته 8A في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.40T. ما هي القوة التي سيخضع لها السلك إذا كانت الزاوية بين السلك والمجال $15°$ ؟

1-4 : يمر التياران 2A و 4A في نفس الاتجاه في سلكين طويلين متوازيين يبعدان 8cm عن بعضهما. احسب القوة بين السلكين. هل هذه القوة تجاذبية أو تنافرية ؟

1-5 : احسب الحثية الذاتية لملف عدد لفاته 200، طوله 8cm، ذي قلب حديدي نفاذيته النسبية 5000 وقطره 3mm.

1-6 : احسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في ملف عدد لفاته 100 إذا وضعناه في مجال مغناطيسي يتغير فيضه 2Wb في الثانية.

دوائر كهربائية – ١

الدوائر المغناطيسية

الجدارة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف: بعد دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة علىمعرفة:

(١) التعريفات الخاصة بالدوائر المغناطيسية(التدفق المغناطيسي ، والقوة الدافعة المغناطيسية ، والممانعة المغناطيسية).

(٢) الممانعة المغناطيسية (المقاومة المغناطيسية) والعوامل التي تؤثر عليها وكيفية حسابها.

(٣) مقارنة و وجه الشبه بين الدوائر المغناطيسية والدوائر الكهربائية.

(٤) كيفية تطبيق قانون أوم للدوائر المغناطيسية.

(٥) كيفية تطبيق قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية.

(٦) منحني التمغطس لبعض المواد المغناطيسية.

(٧) تطبيقات على دوائر مغناطيسية بسيطة.

مستوى الأداء: المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

الدوائر المغناطيسية

أساسيات:

الدائرة المغناطيسية هي عبارة عن مسارات للفيض المغناطيسي .تماما ، كما أن الدائرة الكهربائية تنشئ مسارات لمرور التيار الكهربي. و تستخدم الدوائر المغناطيسية في المحولات و الآلات الكهربائية، و العديد من النبائط الكهروميكانيكية.
تتكون الدائرة المغناطيسية من مسار مقفل للفيض المغناطيسي الدي يتولد عادة نتيجة لمرور تيار في سلك ملفوف و محيط بمسار الفيض

وكما عرفنا الحث المغناطيسي، أو كثافة المجال المغناطيسي B في الفصل السابق بمعادلة القوة:

$$F = BI\ell \quad [N] \tag{10-1}$$

حيث F(N) هي القوة التي تظهر على موصل مستقيم طوله ℓ(m)، عندما يمر به تيار، قيمة i(A)، و موجود في وضع متعامد مع مجال مغناطيسي كثافة B(T).
كما عرفنا سابقا أن العلاقة بين الفيض المغناطيسي ، كثافته و المساحة التي يمر فيها تتبع القانون التالي:

$$\Phi = B\,A \quad \text{أو} \quad B = \Phi / A \tag{10-2}$$

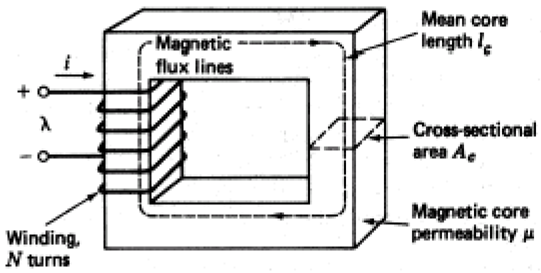
علماً بأن وحدة الفيض المغناطيسي هي الوبر(Wb)، و تبين معادلة (10-3) أن $1T = 1Wb/m^2$
و مصادر المجال المغناطيسي إما: مغناطيس دائم، أو تيار كهربي. و لقياس فاعلية التيار الكهربي في إنتاج الفيض المغناطيسي، (أو المجال).. فيجب تعريف ما يسمى القوة الدافعة المغناطيسية (mmf).

$$\mathfrak{F} = Ni \quad (ampere - turns) \tag{10-3}$$

$$\mathfrak{F} = \mathfrak{R}\,\phi \tag{10-4}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A} \qquad (A\text{-}t/Wb) \tag{10-5}$$

حيث I هو التيار المار في ملف كهربائي عدد لفاته N ، و تقدر وحدة القوة الدافعة المغناطيسية بالأمبير لفة (AT) ، و يبين شكل(١٠- ١) رسما تخطيطيا لدائرة مغناطيسية ، تحتوي على mmf ، و فيض مغناطيسي.



الشكل (١٠- ١)

و يمكن استنتاج العلاقة المتبادلة بين التيار الكهربائي I و شدة المجال المغناطيسي H المصاحب من أمبير الدائري .

$$\oint \mathbf{H} \bullet d\mathbf{l} = \oint \mathbf{J} \bullet d\mathbf{a} \qquad (10\text{-}6)$$

$$H_c l_c = Ni \qquad (10\text{-}7)$$

و يحدد قانون أمبير الدائري وحدة شدة المجال بالقيمة ١ أمبير/متر و يكون قلب الدائرة المغناطيسية عادة من الحديد المغناطيسي، كما أن العلاقة بين شدة المجال و كثافة الفيض لهذه المواد تعطى بالقانون التالي:

$$B_c = \mu H_c \qquad (10\text{-}8)$$

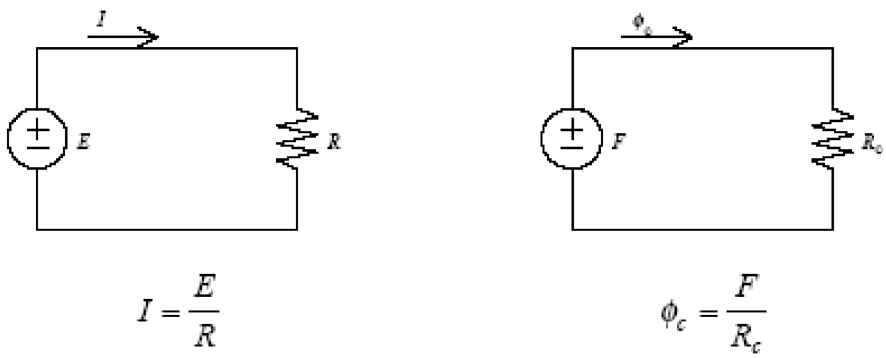
$B_C = \mu_r \mu_o H_c$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A-t-m

قانون أوم للدوائر المغناطيسية

$$\Phi = N i \frac{\mu_r \mu_0 A}{l} = F_m \frac{\mu_r \mu_0 A}{l} \qquad (10\text{-}9)$$

$$\Phi = F_m P = \frac{F_m}{R_m}$$



شكل (١٠- ٢) الدائرة المكافئة المغناطيسية بالتناظر مع الدائرة الكهربائية

تتبع الدوائر المغناطيسية قانونا يطابق قانون أوم ، بعد تنظير الكميات الكهربائية و الكميات المغناطيسية شكل (١٠- ٢). و يبين الجدول (١٠- ١) التناظر بين الدوائر الكهربائية و الدوائر المغناطيسية.

و الفرق بين دائرة كهربائية و دائرة مغناطيسية هي:

١- يوجد فقد قيمته RI^2 في المقاومة المادية ، بينما لا يوجد فقد يسمى $R\Phi^2$ في المعاوقة المغناطيسية.

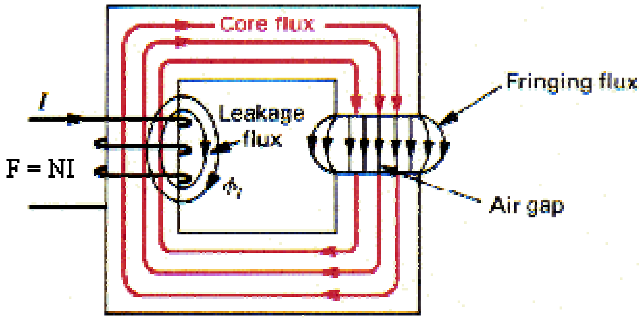
٢- يمكن أن يتخذ الفيض المغناطيسي مسارات تسريبية الشكل (١٠- ٣)، بينما لايوجد ذلك بالنسبة للتيارات الكهربائية (المارة خلال المقاومات).

يتسرب جزء من الفيض المغناطيسي الناشئ في دائرة مغناطيسية و يأخذ مسارات عشوائية. و يسمى هذا الجزء بالفيض المتسربLeaking flux . و يعتبر الفيض المتسرب غير مفيد في الدائرة. يبين الشكل (١٠- ٣) الفيض المتسرب في دائرة مغناطيسية.

يحسب معامل التسرب من العلاقة :

معامل التسرب = الفيض الكلي / الفيض المفيد

و يتراوح هذا المعامل في الآلات الكهربائية الحديثة بين ١,١ – ١,٢٥

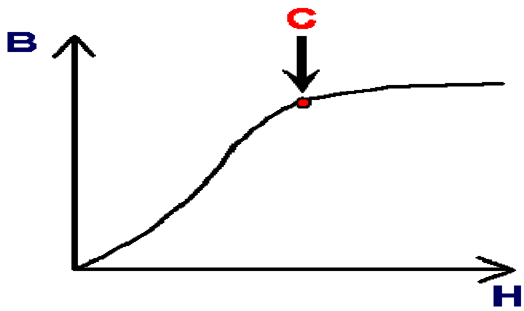


شكل (١٠- ٣) دائرة مغناطيسية محتوية على ثغرة هوائية

٣- في الدوائر المغناطيسية المحتوية على ثغرات هوائية، فإننا نأخذ في الاعتبار مقدار التقوس Fringing flux في خطوط الفيض شكل (١٠- ٣) بينما لايوجد تقوس للتيارات في الدوائر الكهربائية، و يزداد التقوس كلما زاد طول الثغرة الهوائية، و يزيد من المساحة الفعالة لمقطع الثغرة.

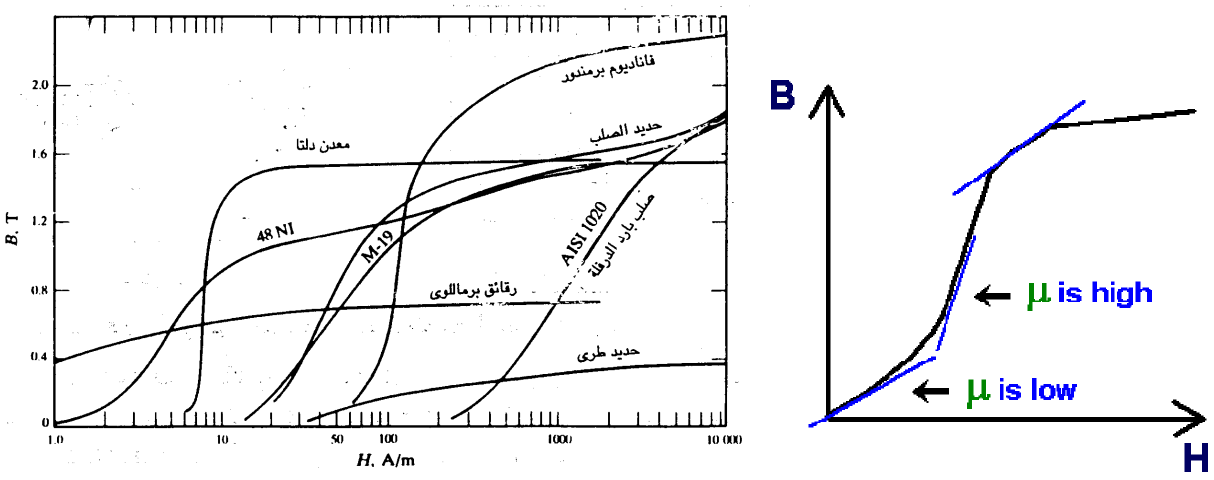
منحنى المغنطة (التشبع)

إن النفاذية النسبية μ_r للمواد المغناطيسية لا تكون عادة ثابتة على طول المدى. و إنما تبدأ في النقصان بعد قيمة معينة لكثافة الفيض B، و تسمى هذه الحالة بالتشبع Saturation شكل (١٠- ٤). و المنحنى الذي يبين تغير كثافة الفيض B مع شدة المجال H يسمى بمنحنى المغنطة شكل (١٠- ٥أ). يبين الشكل (١٠- ٥ب) منحنيات المغنطة لبعض المواد المغناطيسية.



شكل (١٠- ٤)

نلاحظ من الشكل (١٠- ٥) أن ميل المنحني يكون كبيرا في الجزء الأول بمعنى أن μ_r تكون مرتفعة عندما تكون B منخفضة و تقل μ_r مع ازدياد B. و كلما زادت قيمة μ_r كلما كانت المادة المغناطيسية أجود.



ب　　　　　　　　أ

شكل (١٠-٥)

مقارنة بين الدوائر المغناطيسية و الدوائر الكهربائية :

	الدائرة الكهربائية	الدائرة المغناطيسية
١	مصدر الجهد الكهربائي- المولد.	مصدر الجهد المغناطيسي- ملف حامل للتيار ذو قلب حديدي
٢	الجهد الكهربائي" V " بالفولت هو المسبب للتيار الكهربائي " I " بالأمبير.	وصلية التدفق " Φ " أو الجهد المغناطيسي (القوة الدافعة المغناطيسية F) بالأمبير هو المسبب للتدفق المغناطيسي " Φ"
٣	تتدفق الإلكترونات في الدائرة الكهربائية.	لا يسري أو يتدفق شيء في الدائرة المغناطيسية فالمجال المغناطيسي ساكن.
٤	تقاس شدة التيارالكهربائي "I " بالأمبير.	تقاس قيمة التدفق المغناطيسي"Φ" بالويبر أو بالفولت ثانية.
٥	كثافة التيار" j" هي قيمة التيار لكل ميليمترمربع من مقطع الموصل"A " $J = I / A$	كثافة التدفق المغناطيسي "B" هي قيمة التدفق المغناطيسي لكل متر مربع من المقطع الفولاذي بالتسلا أو فولت ثانية/متر مربع
٦	تتكون المقاومة الكهربائية " R" في الدائرة الكهربائية من مقاومات الموصلات و الأحمال.	تنشأ المقاومة المغناطيسية" Rm " من القضبان الفولادية حول الملف، من الثغرة الهوائية كحمل. و يقاوم الهواء التدفق المغناطيسي مقاومة كبيرة.

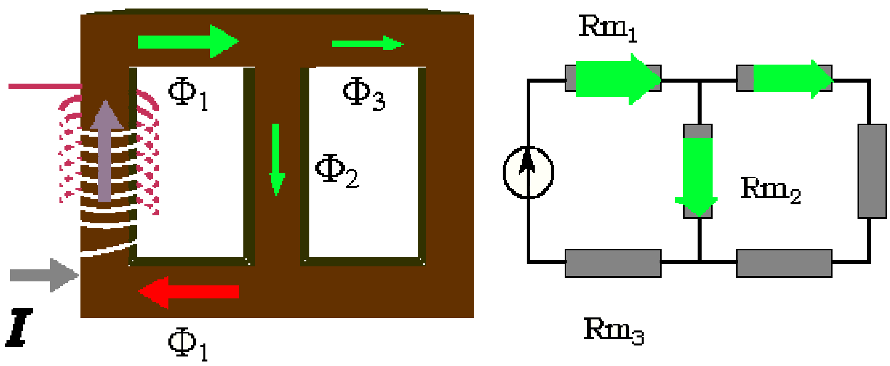
٧	قانون أوم: $V = RI$	قانون أوم: $F = R_m \Phi$
٨	المقاومة الكهربائية: $R= (L/\gamma)/A$ L:طول الموصل γ:موصلية المادة A:مساحة مقطع الموصل. تزداد المقاومة R لموصل ما كلما زاد طول الموصلL. و نقصت مساحة مقطع الموصلA.	المقاومة المغناطيسيةReluctance: $R_m=(L/\mu)A$ L:طول الدائرة المغناطيسية μ:الموصلية(النفادية) المغناطيسية للمادة A:مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء. تزداد مقاومة الدائرة المغناطيسية Rm كلما زاد طولها و نقصت الموصلية المغناطيسية للمادة و نقصت مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء.
٩	يولد مصدر جهد له أطراف معينة، تيارأصغر في مقاومة كبيرة مما يولده في مقاومة صغيرة.	يولد ملف له وصلية تدفق معينة تدفقا مغناطيسيا في الهواء (مقاومة كبيرة) أضعف بكثير منه في الفولاذ (مقاومة صغيرة).
١٠	يقع هبوط الجهد "E" على امتداد مجال كهربائي. ففي المجال الكهربائي، يعرف إصطلاح هبوط الجهد الكهربائيE ، و يظهر لكل متر على طول المجال الكهربائي هبوط للجهد مقداره: $E = V/L$ [v/m] و ينطبق ذلك على المجال الكهربائي المتجانس.	يقع هبوط الجهد"H" على امتداد مجال مغناطيسي:ففي المجال المغناطيسي يعرف اصطلاح هبوط الجهد المغناطيسي H و يظهر لكل متر على طول المجال المغناطيسي هبوط للجهد مقداره: $H = V/L$ [A/m]
١١	تسمى "E" في المراجع أيضا بشدة المجال الكهربائي. و ذلك إذا عوض عن R في المعادلة: $I = V/R$ بالقيمة A. $(L/\gamma).A$ فإننا نحصل على: $I/A = E, I/A = S$ $I/A=\gamma.V/L$ $I = \gamma.A.V/L$	تسمى"H" في المراجع أيضا بشدة المجال المغناطيسي $H = \Phi/L$ إذا عوض عنRm في المعادلة: $\Phi=N.I / R_m$ بالقيمة: $L/\mu A$ فإننا نحصل على: $\Phi/A = N.I.\mu/L$ $\Phi= I.N.\mu.A/L$

	إذن: $S = \gamma.E$ أي أن كثافة التيار = الموصلية مضروبة في هبوط الجهد بعد التعويض $E = S/\gamma$	و حيث أن: $\Phi/A = B$ أو $H=N.I/L$ إذن: $B = \mu.H$ أي أن كثافة التدفق المغناطيسي"B" = النفادية مضروبة في شدة المجال (هبوط الجهد).

قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية:

قانون كيرشوف للتيار:

$$\sum_{k=1}^{..} \phi_k = 0 \qquad (10\text{-}10)$$

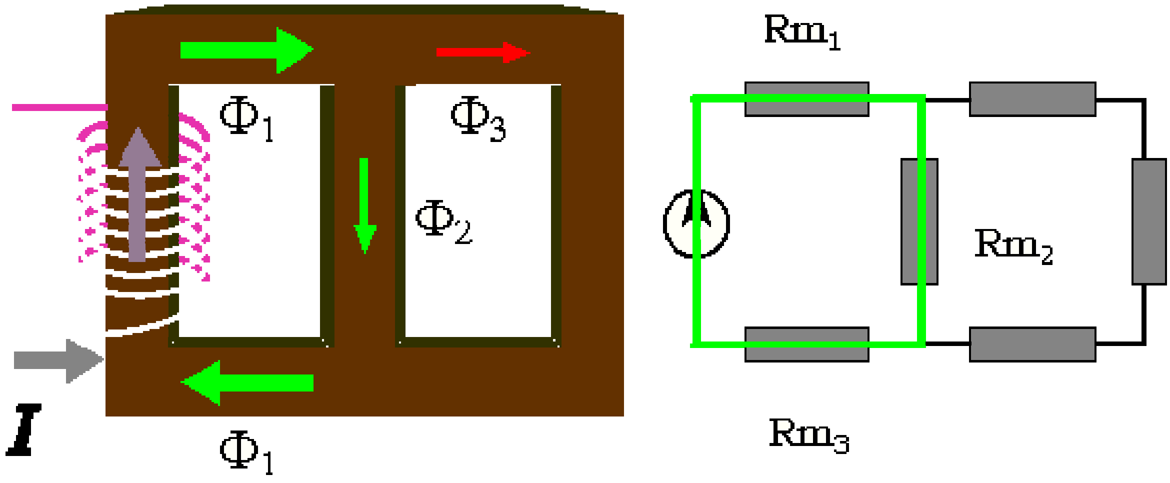


$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

شكل (١٠- ٦)

قانون كيرشوف للجهد:

$$\sum \bar{R}_k \phi_k = \sum F_k \qquad (10\text{-}11)$$

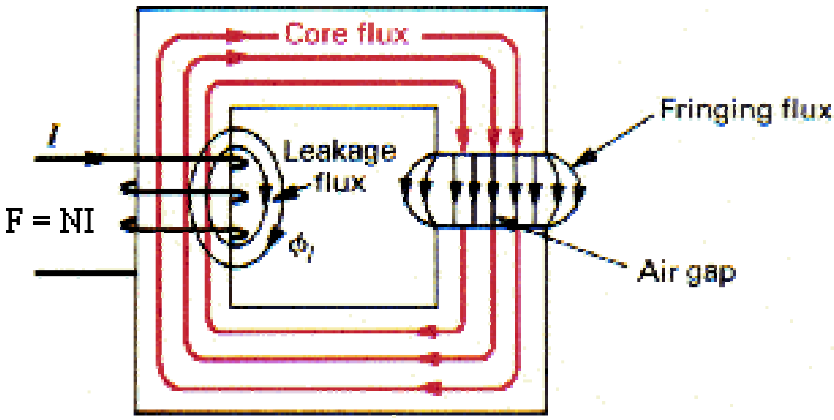


$$NI = Rm_1\Phi_1 + Rm_2\Phi_2 + Rm_3\Phi_3$$

شكل (١٠- ٧)

<u>مثال (١٠- ١):</u>

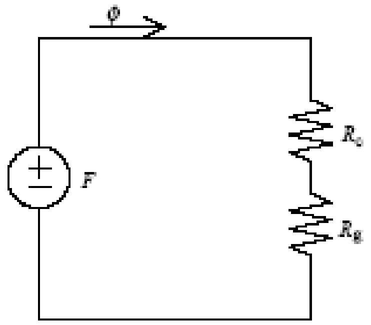
لتكن الدائرة المبينة في الشكل (١٠- ٨)، أرسم الدائرة المغناطيسية المكافئة و أكتب قوانين كيرشوف (KVL و KCL) لهذه الدائرة:



شكل (١٠- ٨)

الحل :

الدائرة المكافئة هي كالتالي:



و بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الدائرة نحصل على المعادلات التالية:

$$F = Ni = H_c l_c + H_g l_g$$

$$H_c l_c = \frac{B_c}{\mu_c} l_c = \frac{\phi_c}{\mu_c A_c} l_c = \phi_c R_c$$

$$H_g l_g = \frac{B_g}{\mu_o} l_g = \frac{\phi_g}{\mu_o A_g} l_g = \phi_g R_g$$

$$\phi_c = \phi_g = \phi$$

$$F = \left(R_c + R_g\right)\phi$$

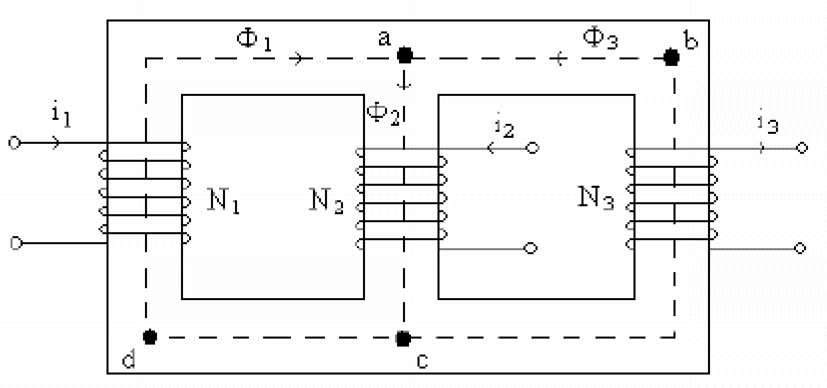
تمارين (١٠- ٢):

لتكن الدائرة (شكل (١٠- ٩)):

١- ارسم الدائرة المكافئة

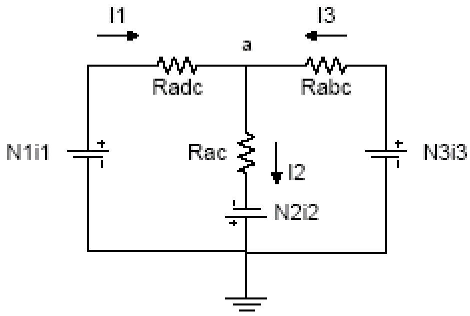
٢- استنتج المقاومة المغناطيسية لكل من الساق الأيمن ، الأوسط و الساق الأيسر.

٣- استنتج قانون كيرشوف في العقدة a .



شكل (١٠- ٩)

الحل:



$$\Re_{ac}=\frac{l_{ac}}{\mu A},\quad \Re_{adc}=\frac{l_{adc}}{\mu A},\quad \Re_{abc}=\frac{l_{abc}}{\mu A}$$

$$I_1-I_2+I_3=0$$

$$\Phi_1-\Phi_2+\Phi_3=0$$

$$\Phi_1=\frac{N_1 i_1-F_a}{R_{adc}},\quad \Phi_2=\frac{F_a+N_2 i_2}{R_{ac}},\quad \Phi_3=\frac{N_3 i_3-F_a}{R_{abc}}$$

$$\frac{N_1 i_1}{R_{adc}}-\frac{N_2 i_2}{R_{ac}}+\frac{N_3 i_3}{R_{abc}}+F_a\left[-\frac{1}{R_{adc}}-\frac{1}{R_{ac}}-\frac{1}{R_{abc}}\right]=0$$

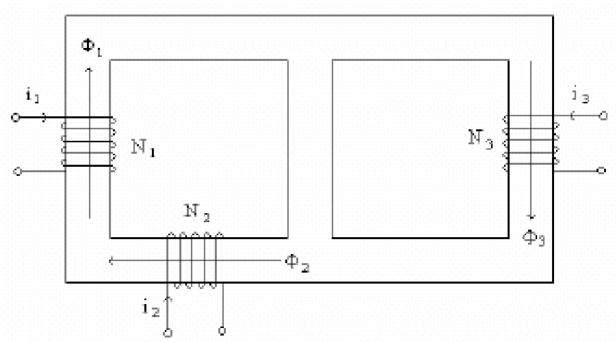
$$F_a=\frac{\dfrac{N_1 i_1}{R_{adc}}-\dfrac{N_2 i_2}{R_{ac}}+\dfrac{N_3 i_3}{R_{abc}}}{\dfrac{1}{R_{adc}}+\dfrac{1}{R_{ac}}+\dfrac{1}{R_{abc}}}$$

تمارين (١٠- ٣):

لتكن الدائرة المغناطيسية (شكل (١٠- ١٠):

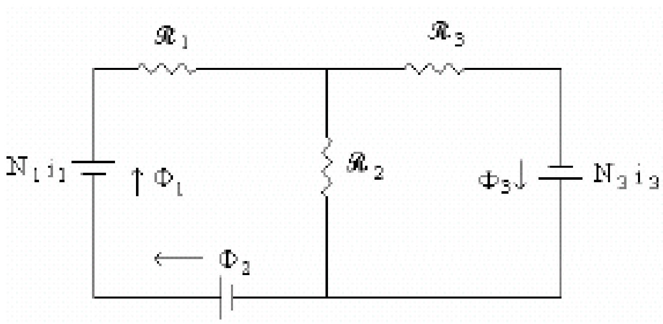
١- ارسم الدائرة المكافئة

٢- استنتج قوانين كيرشوف في كل من الحلقتين .



شكل (١٠- ١٠)

الحل:



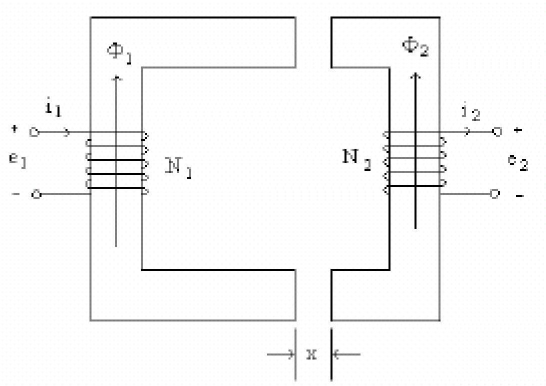
$$\Phi_1 = \Phi_2.$$
$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = \Re_1 \Phi_1 + \Re_2 (\Phi_1 - \Phi_3)$$
$$N_3 i_3 = \Re_3 \Phi_3 + \Re_2 (\Phi_3 - \Phi_1)$$

<u>تمارين (١٠- ٤):</u>

لتكن دائرة مغناطيسية ((شكل(١٠- ١١):

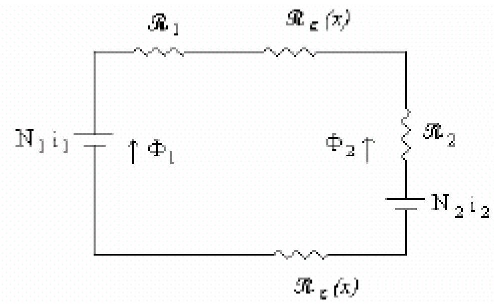
١- ارسم الدائرة المكافئة.

٢- استنتج قانون كيرشوف.



شكل (١٠- ١١)

<u>الحل:</u>



$$\Phi_1 = -\Phi_2.$$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \left[\Re_1 + \Re_2 + 2\Re_g(x)\right]\Phi_1$$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \Re(x)\Phi_1$$

<u>مثال (١٠- ٥):</u>

حلقة حديدية طول محيطها المتوسط ٣ متر و مساحة مقطعها 25 سم^2 و بها قطع يمثل ثغرة هوائية طولها 1مم. يحيط بالحلقة ملف به 350 لفة. فإذا كان معامل النفاذ النسبي لمادة الحلقة 800 و كان معامل التسرب المغناطيسي 1.2.فأوجد التيار الكهربائي اللازم إمراره في الملف للحصول على فيض قدره 0.3ميلي ويبر في الثغرة الهوائية.

<u>الحل:</u>

في الثغرة الهوائية:

$$B_g = \Phi / A$$

$$B_g = 0.3 \times 10^{-3} / 5 \times 10^{-4} = 0.6 \ Wb / m^2$$

$$H_g = B_g / \mu_0 = 0.6 / 4\pi \times 10^{-7} = 47.7 \times 10^4 \ AT/m$$

$$AT_g = H_g \times l_g = 47.7 \times 10^4 \times 1 \times 10^{-3} = 477 \ AT$$

في الحلقة الحديدية:

$$B_i = \lambda \Phi_g / A = 1.2 \, [0.3 \times 10^{-3} / 5 \times 10^{-4}] = 0.72 \ Wb / m^2$$

$$H_i = B_i / \mu_0 \mu_r = 0.72 / 4\pi \times 10^{-7} \times 800 = 715 \ AT/m$$

$$AT_i = H_i l_i = 715 \times 3 = 2145 \ AT$$

الأمبير لفة الكلي:

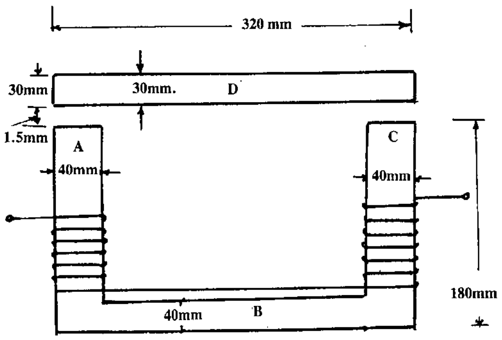
$$= 477 + 2145 = 2622 \ AT$$

و التيار المطلوب:

$$AT_t / N = 2622 / 350 = 7.5 \ A$$

<u>مثال (١٠– ٦):</u>

دائرة مغناطيسية أبعادها كما هو مبين بالشكل (١٠– ١٢) . مقطع الأجزاء A، B، وC مربع بينما الجزء D مستطيل (30 x 40 مم). يمر بالدائرة مجال مغناطيسي ناتج من ملفين على الجزأين A وC و موصلين على التوالي و يحوي كل منهما ل 1500 لفة . إذا كانت معاملات النفاذ النسبي لأجزاء القلب الحديدي هي 900 لأجزاء A وB وC و 750 للجزء D فأوجد تيار المغنطة اللازم لإمرار مجال مغناطيسي 1.6 ميلي ويبر في الثغرة الهوائية.



شكل (١٠ - ١٢)

الحل:

في الثغرات الهوائية:

$B_g = [1.6 \times (1/1000) / 40 \times 40 \times (1/1000000)] = 1 Wb / m^2$

$H_g = B_g / \mu_0 = 1 / \ 4\pi \times 10^{-7} = 79,54x \ 10^{-4} = AT/m$

$L_g = 2x \ 1.5 = 3mm$

$AT_g = 79,54x \ 10^{-4} \ x \ 3x10^{-3} = 2386 \ AT$

الأجزاء .C,B,A

$B = 1 \ Wb / m^2$

$H = 1/ \ 4\pi \times 10^{-7} \ x \ 900 = 884 \ AT/m$

$L_{mean} = 160 + 280 + 160 = 600 \ mm$

$AT = 884 \ x \ 600 \ x \ 10^{-3} = 530 \ AT$

$B = \Phi / A = (1.6 \ x \ 10^{-3}) / (30 \ x \ 40 \ x \ 10^{-6}) = 4/3 \ Wb/m^2$

$H = (4/3)x \ 4\pi \times 10^{-7} \ x \ 750 = 1415 \ AT/m$

$L_{mean} = 320 - (2 \ x \ 20) = 280 \ mm$

$AT = 1415 \ x \ 280 \ x \ 10^{-3} = 396 \ AT$

$Total \ AT = 2386 + 530 + 396 = 3312 \ AT$

$I = 3312 / 3000 = 1.014 \ A$

مثال (١٠- ٧):

حلقة مصنوعة من الحديد المسبوك بالشكل و الأبعاد المبينة بالشكل (١٠- ١٣) و مقطعها مربع طول ضلعه 3 سم و مثبت بداخلها قضيب حديدي طوله 18سم و مقطعه 0.4 سم x 3 سم بدون ثغرات هوائية بينه و بين الحلقة.

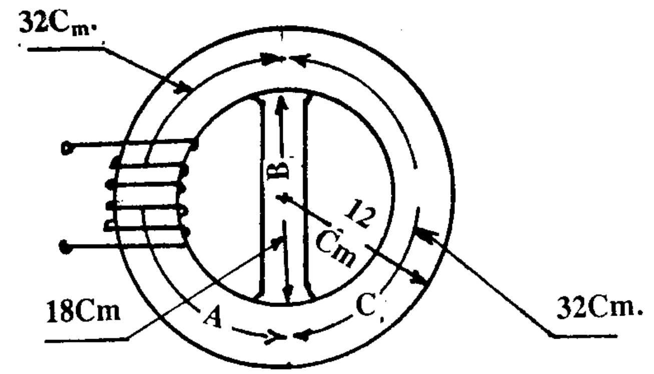
احسب الأمبير لفات اللازمة على الجزء للحصول على مجال مغناطيسي كثافته 1 ويبر لكل متر مربع في الجزء من الحلقة. الخواص المغناطيسية للمواد المستخدمة هي كما يأتي:

الحديد المسبوك:

B[T]	1	1.1	1.2
H[A/m]	900	1020	1220

الحديد:

B[T]	1.2	1.4	1.45
H[A/m]	590	1200	1650



شكل (١٠ - ١٣)

<u>الحل:</u>

1- الجزء C .

من الجدول عندما تكون $B = 1\ Wb/m^2$

فإن $H_c = 900\ AT/m$

طول المسار

$$L_c = [\ \pi\ (24-3)\ ]\ /2 = 66/2 = 33\ cm$$
$$AT_c = 900 \times 0.33 = 297$$

2- الجزء D .

حيث إن D على التوازي مع C فإن نفس الأمبير لفات موجودة عليه، أي أن

$$AT_D = 297 = H_D\ l_D$$
$$H_D = 297\ /\ 0.18 = 1650\ AT\ /m$$

ومن الجدول :

$$B_D = 1.45\ Wb/m^2$$
$$\Phi_c = B_c A_c = 1 \times 9 \times 10^{-4} = 9 \times 10^{-4}\ Wb$$
$$\Phi_D = B_D A_D = 1.45 \times 0.4 \times 3 \times 10^{-4} = 1.74 \times 10^{-4}\ Wb$$
$$\Phi_A = \Phi_c + \Phi_D = 10.74 \times 10^{-4}\ Wb$$
$$B_A = \Phi_A / A_A = 10.74 \times 10^{-4} / 3 \times 3 \times 10^{-4} = 1.193\ Wb/m^2$$

من الجدول و بالتقريب:

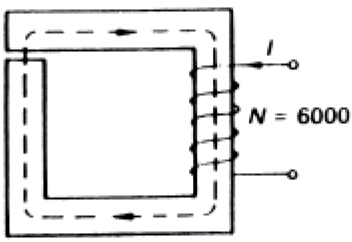
$$H_A = 1200\ AT/m$$
$$AT_A = H_A l_A = 1200 \times 0.33 = 396$$

و الأمبير لفات الكلية تصبح:

$$AT_t = 396 + 297 = 693\ AT$$

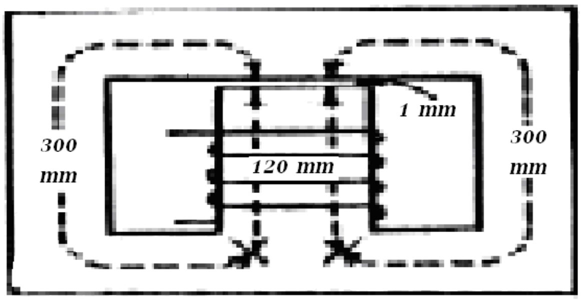
تمارين إضافية:

١- يمر تيار قدره 20 ميلي أمبير في الملف الذي يحوي على 6000 لفة شكل (١٠- ١٤) فيحدث فيض مغناطيسي عبر الحديد المغناطيسي و الفجوة الهوائية.إذا كانت مساحة مقطع الحديد 0.8×10^{-4} متراً مربعاً، و طول المسار المتوسط في الحديد 0.15 متر، معامل النفاد النسبي للحديد 800 و الفجوة الهوائية 0.75 ميلي متر.أحسب كثافة الفيض المغناطيسي (يهمل عامل التقوس).

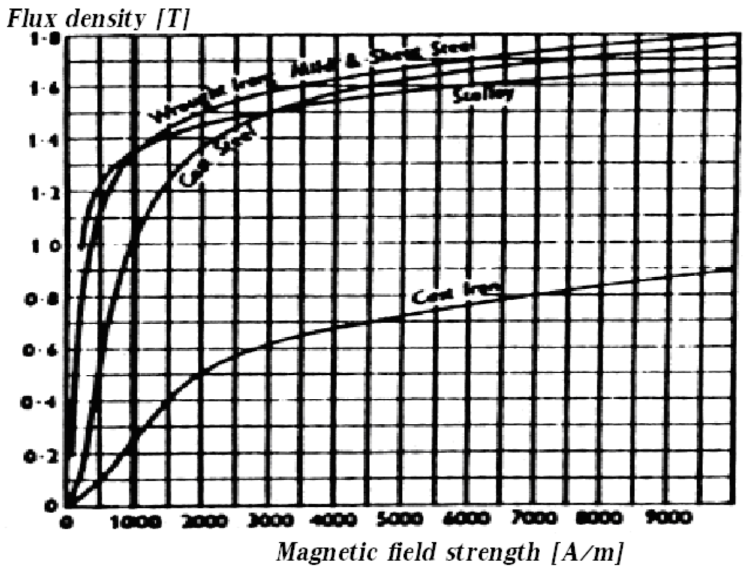


شكل (١٠- ١٤)

٢- لتكن الدائرة المغناطيسية شكل (١٠- ١٥) ،الساق الوسطى تحتوي على 500 لفة و مساحة مقطعه 800 ميلي متر مربع أما الساقين الأيمن و الأيسر مساحة مقطعهما 500 ميلي متر مربع، الفجوة الهوائية 1 ميلي متر. احسب التيار المطلوب الذي يمكننا من الحصول على 1.3 ميلي ويبر في الساق الوسطى (يهمل التسرب و التقوس) وأبعاد المسارات المغناطيسية المختلفة موضحة على الشكل (١٠- ١٥) استعمل منحنى B-H شكل (١٠ - ١٦).

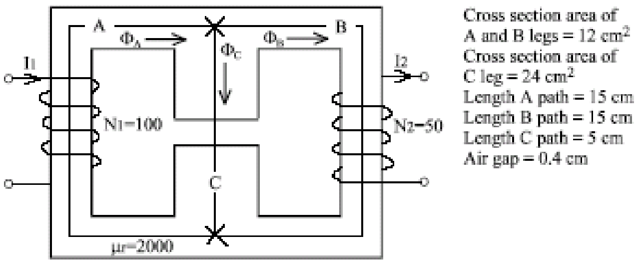


شكل (١٠- ١٥)



شكل (١٠- ١٦)

٣- شكل (١٠- ١٧) يبين محولاً ذا ملفين ، الابتدائي يحتوي على 100 لفة و الثانوي 50 لفة ، ونفاذية الحديد 2000 (يهمل التسرب و التقوس) احسب شدة التيار الابتدائي إذا كان التيار الثانوي 20 أمبير وكانت القيمة العضمى لكثافة الفيض المغناطيسي في الساق الوسطى C 0.6 تيسلا.



شكل (١٠- ١٧)

المراجع

1. Engineering Electromagnetics, William H. Hayt, JR. Mcgraw Hill, 1981 .
2. Theory and problems of Electromagnetics, Joseph A. Edminister, Shaum's outline series, McGraw Hill, 1979 .
3. Electric Circuits, James W. Nilson, Addison Wiseley, 1990.
4. Introduction to Electric Circuits, John Wiley & Sons, 1993.
5.
6. Engineering Circuit Analysis, William H. Hayt, Jr., J.E. Kennerly, McGaw Hill, 1993.
7. Linear Circuit Analysis, R. A. Decarlo, Pen- Min Lin, Prentice Hill, 1995.
8. Basic Electrical Measurements, Melville B. Shout, Prentice Hall, 1986.

المحتويات